WAGENINGEN UR
For quality of life

Waterkwaliteit op het landgoed Lankheet

Zuiverende werking van rietvelden en de Buurserbeek

H.M. Mulder
L.P.A. van Gerven
E.P. Querner
A.K. van der Werf







Alterra-rapport 1878, ISSN 1566-7197

Waterkwaliteit op het landgoed Lankheet

In opdracht van het ministerie van LNV, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek-cluster Vitaal Landelijk Gebied.

Projectcode [BO-01-003-303]

Waterkwaliteit op het landgoed Lankheet

Zuiverende werking van rietvelden en de Buurserbeek

H.M. Mulder
L.P.A. van Gerven
E.P. Querner
A.K. van der Werf

Alterra-rapport 1878

Alterra, Wageningen, 2009

REFERAAT

Mulder, H.M., L.P.A. van Gerven, E.P. Querner, A.K. van der Werf, 2009. *Waterkwaliteit op het landgoed Lankheet: Zuiverende werking van rietvelden en de Buurserbeek*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1878. 72 blz.; 26 fig.; 16 tab.; 27 ref.

Het waterbeleid in Nederland wordt de komende jaren sterk bepaald door de implementatie van het WB21, KRW en het GGOR. Veel rivieren en beken zijn sterk verrijkt met voedingsstoffen vanuit de landbouw en puntlozingen via bijvoorbeeld riooloverstorten. Op het landgoed Lankheet worden rietvelden ingezet om het oppervlaktewater effectief te zuiveren van stikstof en fosfaat. Door het riet aan het einde van de groeiperiode te maaien kunnen grote hoeveelheden nutriënten uit het systeem gehaald worden. In deze studie wordt met het NUSWALITE waterkwaliteitsmodel de zuiverende werking van de Buurserbeek en de rietvelden in beeld gebracht. De berekende zuiverende werking in het zomerhalfjaar van de Buurserbeek is voor N ca. 0.25 %/km en voor P ca. 0.75 %/km. Voor de rietvelden (bij aanvoer van 500m^3/d per veld) wordt voor het zomerhalfjaar een zuiverende werking berekend van ca. 32-36% voor N en 50-59% voor P. De resultaten van deze studie zullen later gebruikt worden om het effect op de waterkwaliteit te voorspellen van grootschalige toepassingen van rietvelden.

Trefwoorden: hydrologie, waterkwaliteit, KRW, helofytenfilters, waterzuivering, nutriëntenbelasting, modelstudie, NUSWALITE, SIMGRO.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.alterra.wur.nl (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.boomblad.nl/rapportenservice.

© 2009 Alterra
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Tel.: (0317) 480700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

[Alterra-rapport 1878/oktober/2009]

Inhoud

Samenvatting 7

1 Inleiding 9
1.1 Achtergrond 9
1.2 Doelstelling 9
1.3 Leeswijzer 9

2 Oppervlaktewaterkwaliteitsmodel 11
2.1 NUSWALITE in een notendop 11
2.2 Modelopzet 13
2.2.1 Hydrologische schematisering 13
2.2.2 Nutriëntenbelasting 14
2.2.2.1 Uitspoeling landelijk gebied 14
2.2.2.2 Bovenstroomse nutriëntenaanvoer 15
2.2.3 Overige modelinvoer 15

3 Methode 17
3.1 Variëren van modelparameters 17
3.1.1 Parameterisatie Buurserbeekmodel 18
3.1.2 Parameterisatie rietmodel 18
3.2 Toetsing modelresultaten aan meetgegevens 19

4 Resultaten Buurserbeek 21
4.1 Toetsing Buurserbeekmodel aan waterkwaliteitsmetingen 21
4.2 Zuiverende werking Buurserbeek 24

5 Resultaten rietvelden 27
5.1 Toetsing model van de rietvelden 27
5.1.1 Berekende en gemeten rietproducties 27
5.1.2 Toetsing nutriëntenconcentraties op de uitlaatpunten 31
5.2 Zuiverende werking rietvelden 33

6 Conclusies 37

Literatuur 41

Bijlage 1 Waterkwaliteitsprocessen in het oppervlaktewater 45
Bijlage 2 Modelbeschrijving van de rietproductie 49
Bijlage 3 Berekende en gemeten nutriëntenconcentraties in de Buurserbeek 53
Bijlage 4 N en P balans voor het winterhalfjaar in de Buurserbeek 57
Bijlage 5 Gevoeligheidsanalyse rietproductie 59
Bijlage 6 Berekende en gemeten rietproducties 61
Bijlage 7 Berekende en gemeten nutriëntenconcentraties bij uitlaat rietvelden 63
Bijlage 8 N en P balans voor het winterhalfjaar in de rietvelden 69
Bijlage 9 Nutriëntenbalansen (N en P) voor rietvelden 71

Samenvatting

Het waterbeleid in Nederland wordt de komende jaren sterk bepaald door de implementatie van het waterbeheer 21e eeuw (WB21), de Kader Richtlijn Water (KRW) en het Gewenste Grond en Oppervlaktewaterregime (GGOR). Het afleiden van beekwater naar rietvelden om het te zuiveren en dit water te laten infiltreren in het grondwatersysteem, kan aan deze opgave een bijdrage leveren. Deze opzet is als proef gerealiseerd op het landgoed Het Lankheet (www.waterparkhetlankheet.nl). De kwaliteit van het oppervlaktewater is momenteel uiterst actueel vanwege de KRW die hoge normen voorschrijft. Veel rivieren en beken zijn sterk verrijkt met voedingsstoffen van landbouwwater en riooloverstorten. Op het landgoed worden rietvelden ingezet om het oppervlaktewater effectief te zuiveren van stikstof en fosfaat. Door het riet aan het einde van de groeiperiode te maaien kunnen grote hoeveelheden nutriënten uit het systeem gehaald worden. Het doel van deze studie is het kwantificeren van de zuiverende werking van de rietvelden ter plaatse van het landgoed. Het met een model berekende zuiverend effect van de rietvelden wordt vervolgens afgezet tegen de gemodelleerde natuurlijke zuiverende werking van de Buurserbeek. De resultaten van deze studie zullen later gebruikt worden om het effect op de waterkwaliteit te voorspellen van de grootschalige toepassing van rietvelden elders in Nederland.

Op het landgoed Het Lankheet zijn in totaal zes rietvelden aangelegd (augustus 2005) met een totale grootte van bijna 3 ha, die afzonderlijk ca. 500 m^3 'vervuild' beekwater per dag aangevoerd krijgen. Met een modelinstrumentarium is de zuiverende werking van de rietvelden berekend voor 2007 en 2008. SIMGRO is gebruikt om de hydrologische situatie in de rietvelden te simuleren (inlaatwater, uitlaatwater en drainage/infiltratie) (Mulder en Querner, 2008). Het model NUSWALITE is ingezet om de rietproductie en het effect hiervan op de waterkwaliteit (N en P) te simuleren, alsmede het effect van processen zoals denitrificatie en sedimentatie op de waterkwaliteit. De gemeten nutriëntenconcentraties van het inlaatwater, aangeleverd door Plant Research International (PRI), zijn gebruikt als uitgangspunt voor de waterkwaliteitsberekening. De belangrijkste bevindingen van de modelresultaten zijn:

- De zuiverende werking varieert per rietveld: in het zomerhalfjaar (2007, 2008) wordt 32 tot 36% van de aangevoerde N vrachten gezuiverd, voor P bedraagt de zuivering 50 tot 59%. Op grond van de metingen wordt voor de periode mei-juli 2007 een gemiddelde N zuivering berekend van 40% en een gemiddelde P zuivering van 46% (persoonlijke communicatie Bastiaan Meerburg, PRI). De onderschatting van de N zuivering komt deels door een te laag berekende rietproductie. De N zuivering wordt met name bepaald door de denitrificatie. Nader onderzoek naar de stimulerende invloed van rietplanten op de denitrificatie is nodig om een plausibele denitrificatiesnelheid op te geven in het model. De overschatting van de P zuivering komt doordat het riet voor de groei niet al het benodigde P uit het water haalt, zoals het model veronderstelt. De rietplant is deels zelfvoorzienend wat betreft nutriënten en lijkt zich aan te passen aan de fosfaatarme omstandigheden resulterend in minder P opname uit het water.
- De nutriëntenopname van het riet in het zomerhalfjaar bedraagt 4 tot 8% van de inkomende N vrachten, en 30 tot 50% van de inkomende P vrachten. De

resterende zuivering wordt met name veroorzaakt door denitrificatie (N) en sedimentatie (P en in kleine mate N). De opnameverhouding van het riet (N:P) bedraagt 10:1 in het model.

- De gesimuleerde rietproducties zijn, afgezonderd van rietveld 2, structureel lager dan de gemeten producties. Een aantal oorzaken liggen hier aan ten grondslag. Ten eerste houdt het model geen rekening met de remobilisatie van nutriënten in de rietplant. Dit houdt in dat in het najaar nutriënten van de scheut naar de wortel worden getransporteerd om ze in het voorjaar aan te wenden voor de rietgroei. Het model kan deze extra groeispurt niet simuleren waardoor het een 'groeiachterstand' heeft. Ten tweede lijkt het erop dat de rietplanten zich aanpassen aan de fosfaatarme omstandigheden in het aanvoerwater. Ze lijken minder P nodig te hebben voor hun groei dan we aannemen in het model, waardoor het riet in werkelijkheid, ondanks de geringe hoeveelheid P in de bodem en in het water, flink groeit. Het is interessant om dit aspect nader te onderzoeken.
- De berekende bandbreedte van nutriëntenconcentraties in het uitlaatwater, berekend aan de hand van onzekerheden in de modelparameters, komen redelijk overeen met de gemeten concentraties. Voor N zijn de berekende uitlaatconcentraties sterk afhankelijk van de denitrificatie. Voor P zijn de berekende nutriëntenconcentraties sterk afhankelijk van de rietproductie.

Ter vergelijk is de zuiverende werking van een traject van de Buurserbeek (met een lengte van 8 km) stroomafwaarts van het landgoed berekend, met hetzelfde modelinstrumentarium. Dit traject is geselecteerd vanwege relatief lage nutriëntenbelasting gedurende het traject. De aanlooproute naar dit traject vanuit de Duitse grens (modelrand) is 10 km. De inkomende nutriëntenstroom is afhankelijk van de opgelegde maandelijkse nutriëntenbelasting op de Duitse grens, de toevoeging van nutriënten (uitspoeling) in de aanlooproute en de vastlegging en verwijdering van nutriënten in de aanlooproute.
De belangrijkste bevindingen wat betreft de zuiverende werking van het geselecteerde beektraject zijn:

- Gemiddeld over de jaren 2002 tot 2009 bedraagt de zuivering in het zomerhalfjaar 0.25%/km van de inkomende N vrachten en 0.75%/km van de inkomende P vrachten.
- De zuivering wordt grotendeels veroorzaakt door denitrificatie van N en sedimentatie van mineraal en organisch N en P. Het maaibeheer, waarmee begin augustus 50% van de wortelende en drijvende waterplanten worden verwijderd, heeft een zeer gering effect op de zuiverende werking.
- De gevonden zuivering (in kg) komt overeen met waarden voor beken gegeven in de EuroHarp studie (Hejzlar et al., 2009), waarin voor verschillende watertypen het zuiverend vermogen is afgeleid op grond van eerdere onderzoeken en metingen.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Het waterbeleid in Nederland wordt de komende jaren sterk bepaald door de implementatie van het Waterbeheer 21e eeuw (WB21), de Kader Richtlijn Water (KRW) en het Gewenste Grond en Oppervlaktewaterregime (GGOR). Het omleiden van beekwater naar rietvelden om het te zuiveren en dit water te laten infiltreren in het grondwatersysteem, kan aan deze opgave een bijdrage leveren. Op het landgoed Het Lankheet is zo'n helofytenfilter gerealiseerd, waar onderzoek wordt uitgevoerd naar waterzuivering, waterberging, productie van energie uit biomassa, recreatief medegebruik, natuurontwikkeling en de beleving van kunst en cultuurhistorie (zie ook www.waterparkhetlankheet.nl).

De kwaliteit van het oppervlaktewater is momenteel uiterst actueel vanwege de KRW die hoge normen voorschrijft. Veel rivieren en beken zijn sterk verrijkt met voedingsstoffen vanuit de landbouw en door puntlozingen via bijvoorbeeld riooloverstorten. Op het landgoed worden rietvelden ingezet om het oppervlaktewater effectief te zuiveren van stikstof en fosfaat. Riet (Phragmites Australis) is een snelgroeiende waterplant die een sterk zuiverende werking heeft op water dat rijk is aan nutriënten. Door het riet aan het einde van de groeiperiode te maaien kunnen grote hoeveelheden nutriënten uit het systeem gehaald worden. Om te onderzoeken of de zuiverende werking ook daadwerkelijk optreedt, is zowel monitoring van de effecten als ook de modelmatige berekening ervan noodzakelijk.

1.2 Doelstelling

In deze studie ligt de nadruk op het kwantificeren van de extra zuiverende werking van de rietvelden t.o.v. de natuurlijke zuiverende werking van de Buurserbeek. Hiertoe wordt de toevoer, het transport en de omzetting plus verwijdering gemodelleerd met het oppervlaktewaterkwaliteitsmodel NUSWALITE, dat voor deze studie is uitgebreid met een rietmodule die de groei en zuivering van het riet simuleert. De resultaten van deze studie zullen later gebruikt worden om het effect op de waterkwaliteit te voorspellen van de grootschalige toepassing van rietvelden elders in Nederland.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zal allereerst een beknopte beschrijving van het oppervlaktewaterkwaliteitsmodel NUSWALITE worden weergegeven. Daarnaast wordt de modelopzet beschreven. In hoofdstuk 3 wordt de in deze studie gehanteerde methode toegelicht. Hierbij worden de gebruikte parameterinstellingen en de wijze van toetsing aan meetgegevens beschreven. In deze studie is onderscheid gemaakt in het modelleren van de Buurserbeek (Buurserbeekmodel) en het modelleren van de rietvelden (rietmodel). In hoofdstuk 4 worden de resultaten van het Buurserbeek-

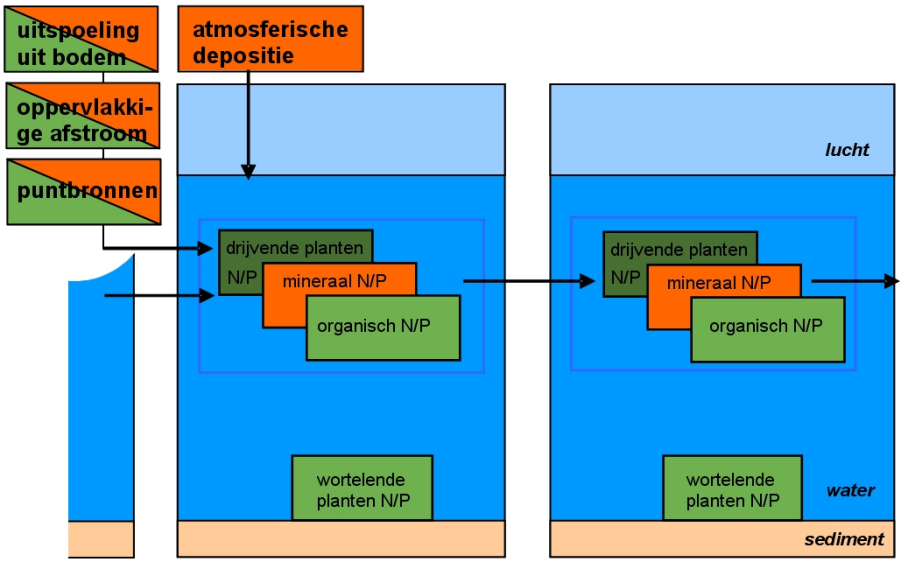
model weergegeven. In eerste instantie worden de berekende modelresultaten vergeleken met de gemeten nutriëntenconcentraties, in tweede instantie wordt de zuiverende werking van de Buurserbeek gekwantificeerd. Hoofdstuk 5 gaat in op de zuiverende werking van de rietvelden. Daarnaast worden de nutriëntenconcentraties in het water dat de rietvelden verlaat en de berekende rietproducties vergeleken met metingen. De belangrijkste conclusies volgen in hoofdstuk 6.

2 Oppervlaktewaterkwaliteitsmodel

2.1 NUSWALITE in een notendop

NUSWALITE is een procesgeoriënteerd oppervlaktewaterkwaliteitsmodel dat de stikstof en fosforcyclus in het oppervlaktewater beschrijft (Siderius et al., 2008). Het model is een simplificatie van het NUSWA-model (NUtrient modeling in Surface WAters) (Van der Kolk et al., 1996) en is ontworpen voor het modelleren van kleine tot middelgrote stroomgebieden. De simplificaties leiden tot snellere rekentijden. Anderzijds vraagt het meer kennis van de modelleur om te komen tot goede inschattingen voor de procesparameters. NUSWALITE wordt onder andere toegepast in het project 'Monitoring Stroomgebieden' waar het onderdeel is van een modelinstrumentarium dat de invloed van het mestbeleid op de waterkwaliteit kwantificeert voor een viertal stroomgebieden (www.monitoringstroomgebieden.nl).
In het kader van dit onderzoek is het model uitgebreid met een rietmodule om zo de zuiverende werking van rietvelden en helofytenfilters in het algemeen te kunnen bepalen. In deze sectie wordt in het kort uitgelegd hoe NUSWALITE werkt. Voor een uitgebreide omschrijving van het model wordt doorverwezen naar het rapport 'Process description of NUSWALITE' (Siderius et al., 2008).

De schematisatie van het stroomgebied en bijbehorende stroomkarakteristieken worden afgeleid met een extern hydrologisch model. Voor het Lankheet project is hiervoor het model SIMGRO (Querner et al., 1989; Van Walsum et al., 2004) gebruikt. Het stroomgebied is ingedeeld in een groot aantal oppervlaktewatercompartimenten. Binnen NUSWALITE kan aan elk compartiment via vier wegen extern nutriënten toegevoegd worden: uitspoeling vanuit het landsysteem, oppervlakkige afstroming, puntbronnen of atmosferische depositie (zie figuur 2.1).

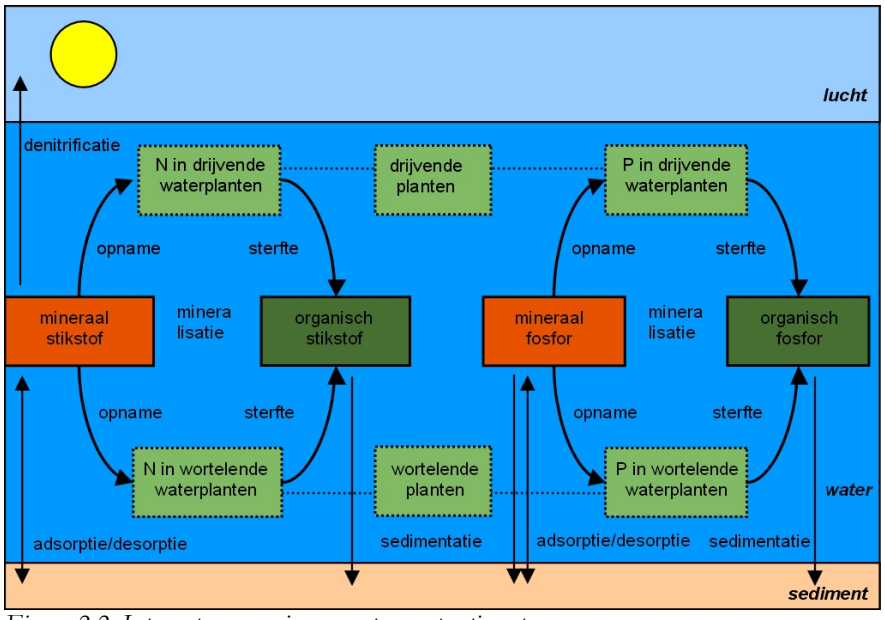


Figuur 2.1: Nutriëntentransport tussen de verschillende compartimenten. Tevens zijn verschillende nutriëntbronnen weergegeven

De stroomkarakteristieken bepalen hoe snel nutriënten via de compartimenten in benedenstroomse richting getransporteerd worden. Nutriënten kunnen het systeem definitief verlaten door denitrificatie (N), sedimentatie (P en N) en maaibeheer. Bij maaien worden waterplanten en de hierin opgeslagen hoeveelheden N en P uit het systeem verwijderd.

De interactie binnen een watercompartiment tussen opgeloste nutriënten in het watersysteem, biomassa, het sediment en de lucht wordt weergegeven in figuur 2.2. Buiten de verwijderprocessen zijn er de omzettingsprocessen die zorgen voor een bepaalde nutriëntenverdeling over de biomassa en de opgeloste minerale en organische fracties. De verschillende soorten waterplanten, waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen drijvende (bijv. kroos) en wortelende waterplanten (bijv. waterpest en riet), nemen minerale nutriënten op uit het water voor hun groei. Deze groei is afhankelijk van de watertemperatuur, de hoeveelheid zonlicht en de aanwezigheid van nutriënten, waarbij om deze laatste twee factoren geconcurreerd wordt door de verschillende soorten waterplanten. Biomassasterfte is temperatuurafhankelijk en resulteert in een toename van de organische fractie. Mineralisatie en denitrificatie zijn gemodelleerd als temperatuurafhankelijke processen. Adsorptie/desorptie wordt gedreven door de dikte van de sedimentlaag in combinatie met de bijbehorende sorptiecapaciteit. De sedimentatie van N en P is afhankelijk van de waterdiepte en de bezinkingssnelheid van N en P.

De omstandigheden in het stroomgebied hebben invloed op de snelheden van de interne processen. Niet alle factoren die van invloed zijn op de processen zijn bekend binnen NUSWALITE, zoals de zuurstoftoestand in het water, de zuurgraad en de verhouding tussen opgelost nitraat en ammonium. Op grond van 'Expert judgement' wordt deze voor het model missende informatie gebruikt om tot een goede schatting van de procesparameters te komen.



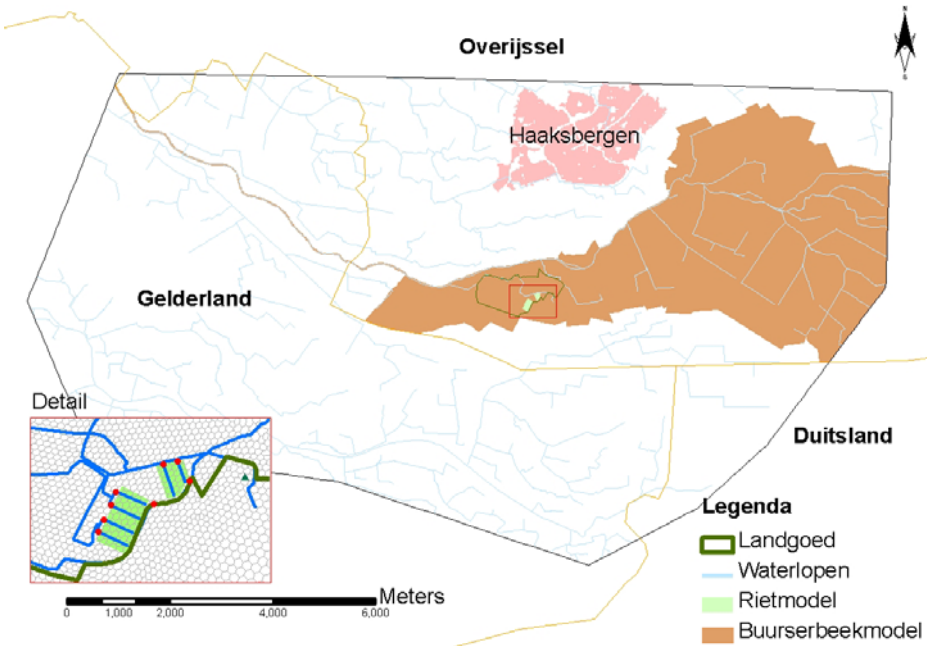
Figuur 2.2: Interne processen in een water compartiment

2.2 Modelopzet

Voordat de modellering met NUSWALITE kan plaatsvinden, zullen eerst de randvoorwaarden voor NUSWALITE gedefinieerd moeten worden, te weten: de hydrologische schematisering, de nutriëntenbelasting in het modelgebied en de hoeveelheid nutriënten die via de randen het modelgebied inkomt, de meteorologische gegevens en het maaibeheer in de watergangen.

2.2.1 Hydrologische schematisering

De schematisatie van het te modelleren gebied met NUSWALITE en de daarvoor benodigde gegevens van de waterstromen, worden berekend door het hydrologisch model SIMGRO (SIMulatie van GROndwaterstroming en oppervlaktewaterstanden). Dit model beschrijft de stroming in de verzadigde zone, onverzadigde zone en het oppervlaktewater. In een voorgaande studie naar waterberging op het landgoed het Lankheet is een SIMGRO model ter plaatse van het landgoed het Lankheet opgezet (Mulder en Querner, 2008). Voor deze studie wordt een gedeelte van het oppervlaktewatersysteem gebruikt voor de modellering met NUSWALITE. Dit gedeelte betreft het stroomgebied van de Buurserbeek bovenstrooms van het landgoed en de Buurserbeek benedenstrooms van het landgoed (zie figuur 2.3). In het vervolg van dit rapport wordt dit gedeelte aangeduid als het Buurserbeekmodel.
Om de waterkwaliteit in de rietvelden (en daarmee de zuiverende werking van de rietvelden) met NUSWALITE goed te kunnen voorspellen is ook een rietmodel opgezet (zie figuur 2.3). Hiermee worden alleen de processen in de zuidelijke rietvelden gesimuleerd.



Figuur 2.3 Ligging van het onderzoeksgebied met uitsnede van Buurserbeekmodel plus detailkaart van de rietvelden (rietmodel) met de hydrologische schematisering.

2.2.2 Nutriëntenbelasting

Met het drainagewater komen er vanuit het landelijk gebied nutriënten in het oppervlaktewater terecht. Deze vrachten worden gegenereerd door STONE (Wolf et al., 2005), een modelinstrumentarium dat op basis van bodemgebruik, bodemchemie, bodemtype, meteorologie en hydrologie de uitspoeling van nutriënten vanuit het landsysteem simuleert op tiendaagse basis. Nutriëntenconcentraties die het model binnenkomen via bovenstrooms gelegen waterlopen, zoals de Buurserbeek, worden bepaald aan de hand van beschikbare meetgegevens (zie verder par. 2.2.2.2).

2.2.2.1 Uitspoeling landelijk gebied

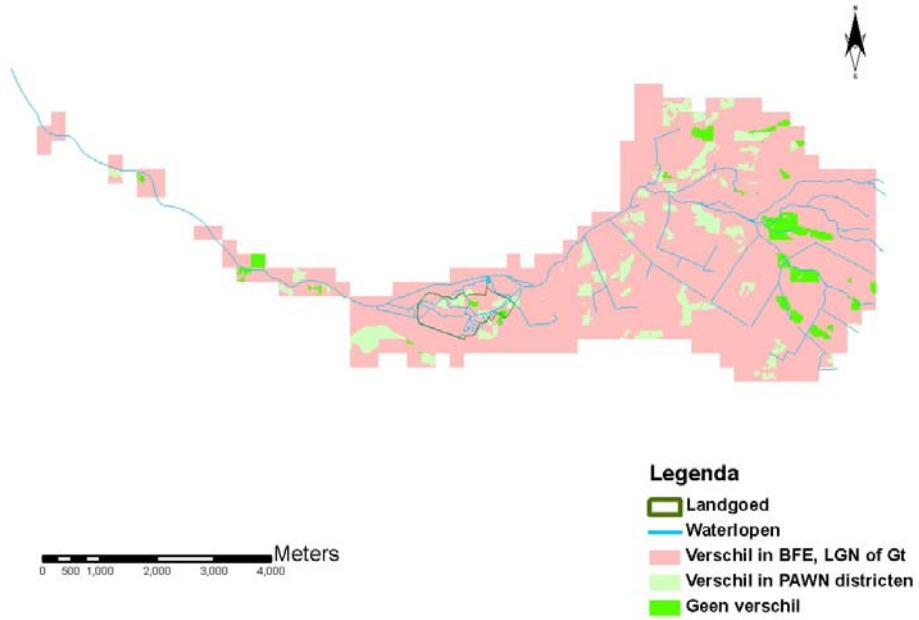
Zoals net verteld worden de nutriëntenvrachten die het model binnenkomen via uitspoeling vanuit het landelijk gebied gegenereerd door STONE. Dit model berekent ruimtelijke en temporele patronen van de nitraatconcentratie in het grondwater, de fosfaatophoping in de bodem en belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfor. Voor het stroomgebied van de Buurserbeek is een selectie gemaakt van de STONE plots die binnen het modelgebied liggen. De STONE plots komen uit een nationale schematisatie en hebben een resolutie van 250 bij 250 meter. In het modelgebied liggen in totaal 85 plots die in omvang variëren van kleiner dan 1 ha tot ca. 170 ha (gemiddelde omvang is ca. 33 ha).

Door de grove schematisatie van de STONE plots is de uitspoeling vanuit het landelijk gebied niet representatief voor het modelgebied. Daarom is besloten een nieuwe schematisatie van de STONE plots op regionaal niveau te realiseren. Als basisinformatie voor de schematisatie is gebruik gemaakt van een kaart met PAWN districten, LGN4 voor landgebruik, de 1:50.000 bodemkaart voor de bodem en grondwatertrap (De Vries et al., 1992), elk met een ruimtelijke resolutie van 25 bij 25 m. De vier kaarten met basisinformatie voor de schematisatie zijn vervolgens met een GIS-procedure gecombineerd tot één kaart met unieke combinaties. Voor het modelgebied levert dit ruim 6.000 unieke combinaties op. De informatie van deze unieke combinaties zijn vervolgens vertaald naar de informatie die wordt gebruikt in de ruimtelijke indeling van STONE (Kroon et al,. 2001).

Bij vertaling van de kenmerken van de unieke combinaties naar informatiekenmerken in STONE zijn de 1:50.000 bodemtypes vertaald naar de 21 PAWN bodemeenheden (Wösten et al., 2001), de grondwatertrappen van de 1:50.000 bodemkaart vertaald naar 11 grondwatertrappen welke in STONE worden aangehouden (Gt I, II, II*, III, III*, IV, V, V*, VI, VII, VII*) en de landgebruiksvormen in LGN4 teruggebracht naar de vier landgebruiksvormen in STONE (grasland, maïs, akkerbouw en natuur). Unieke combinaties met kenmerken die niet konden worden vertaald in één van deze kenmerken zijn buiten beschouwing gelaten. Deze stap levert uiteindelijk 128 unieke combinaties op die in het modelgebied voorkomen. Voor elk van deze unieke combinatie is een best passende STONE plot geselecteerd op basis van overeenkomsten in PAWN districten, landgebruik, bodem en Gt-klasse.

Voor het totale modelgebied komt slechts 3.5% van de regionale plots overeen met de schematisatie van de nationale plots (zie figuur 2.4). Indien de PAWN districten

niet meegenomen worden in de vergelijking heeft iets minder dan 12% van de regionale plots een overeenkomst met de nationale plots. Een oorzaak hiervoor is de grove resolutie van de ruimtelijke schematisatie van STONE (250 bij 250 m) en het reduceren van het aantal plots in STONE.



Figuur 2.4 Vergelijking STONE plots (nationaal vs. regionaal).

2.2.2.2 Bovenstroomse nutriëntenaanvoer

Vanuit Duitsland stroomt de Buurserbeek het modelgebied binnen. Ter plaatse van de Reinkstuw worden dagelijks afvoeren en maandelijks nutriëntenconcentraties gemeten door het Waterschap Rijn en IJssel. Deze meetgegevens zijn in het Buurserbeekmodel als randvoorwaarden opgelegd.

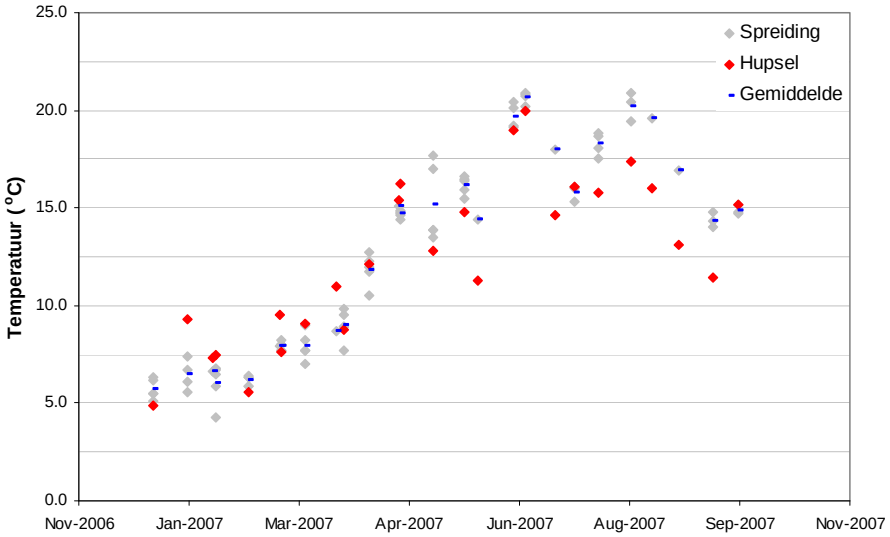
Om de zuiverende werking van de rietvelden beter te kunnen kwantificeren worden in het rietmodel lokale randvoorwaarden opgelegd. Elk rietveld heeft een waterinlaat van 500 m3/dag. Deze hoeveelheid water wordt voorzien van nutriëntenconcentraties die vanaf 2007 debietproportioneel worden gemeten (PRI) op een tweetal locaties in de aanvoerroute van de rietvelden (figuur 3.1).

2.2.3 Overige modelinvoer

Voor het beheer maakt het waterschap onderscheidt tussen kleine sloten samen met grotere beken en middelgrote watergangen. De kleine sloten en grotere beken worden één keer per jaar gemaaid en middelgrote watergangen twee tot viermaal per jaar. De maaiperiode is van 1 juni tot en met 1 november.

Zowel voor het hydrologische model SIMGRO als voor NUSWALITE zijn de meteorologische gegevens van het station Hupsel gebruikt (bron: KNMI). De globale straling en de watertemperatuur hebben grote invloed op de groei van waterplanten in NUSWALITE en daarmee op de berekende waterkwaliteit van het oppervlakte-

water. Een hogere watertemperatuur stimuleert bovendien de mineralisatie van nutriënten en de denitrificatie van stikstof. De globale straling is afhankelijk van de breedtegraad en de bewolking. Voor de temperatuur is in deze studie gebruik gemaakt van de gemeten luchttemperatuur in plaats van de schaars gemeten watertemperatuur. In figuur 2.6 is een vergelijking weergegeven waarbij is te zien dat de gemeten temperaturen elkaar niet veel ontlopen. Tevens is in de figuur een spreiding weergegeven van de watertemperatuur gemeten op verschillende locaties (zie meetlocaties van het waterschap, figuur 2.5). Naar verwachting zal het gebruik van de luchttemperatuur in plaats van de temperatuur van het water geen significant effect hebben op de resultaten.



Figuur 2.6 Vergelijking van de lucht- en watertemperatuur waarbij 'Hupsel' de gemeten luchttemperatuur is ter plaatse van het meteorologische station Hupsel en 'Spreiding' de variatie in watertemperatuur weergeeft gemeten op verschillende locaties op het landgoed.

3 Methode

Zoals eerder aangegeven wordt in deze studie de opperwaterkwaliteit en zuiverende werking van de Buurserbeek bepaald (Buurserbeekmodel) alsmede de zuiverende werking van de rietvelden op de waterkwaliteit (rietmodel). We kijken hierbij naar het stikstof- en fosforgehalte in het oppervlaktewater omdat deze stoffen het meest bepalend zijn voor de ecologische kwaliteit van het oppervlaktewater. Deze nutriëntengehaltes zijn bepaald met NUSWALITE. De zuiverende werking is een maat voor de hoeveelheid nutriënten die door de waterloop of door de rietvelden (tijdelijk) opgeslagen of verwijderd worden.

3.1 Variëren van modelparameters

Voor zowel het Buurserbeekmodel als het rietmodel zijn de parameterinstellingen van NUSWALITE, die van invloed zijn op de snelheid van de waterkwaliteitsprocessen, overgenomen uit een NUSWALITE-studie naar de oppervlaktewaterkwaliteit in de Drentse Aa (Roelsma et al., 2008). De Drentse Aa is globaal gezien vergelijkbaar met de Buurserbeek aangezien het beiden vrij afwaterende waterlopen zijn in een zandgebied. Dit rechtvaardigt de overname van parameterinstellingen echter niet volledig. Daar komt bij dat ook de gebruikte instellingen voor de Drentse Aa een bepaalde onzekerheid bevatten. Enerzijds komt dit doordat de parameterwaarden niet allemaal specifiek zijn afgeleid op basis van de veld- en laboratoriumgegevens. Anderzijds komt dit door de samengevoegde procesbeschrijving in NUSWALITE en omdat niet alle factoren die van invloed zijn op de processen in NUSWALITE worden meegenomen. Daarom is er in deze studie voor gekozen de meest onzekere parameterwaarden te variëren met behulp van een min-max analyse wat resulteert in een bepaalde bandbreedte in de berekende waterkwaliteit. Voor het Buurserbeekmodel worden de parameters gevarieerd die voornamelijk invloed hebben op processen in het oppervlaktewater (bijv. denitrificatie en sedimentatie). Voor het rietmodel zijn dit de parameters met betrekking op de productie van de rietbiomassa. De berekende banden zijn geen betrouwbaarheidsintervallen, maar zogeheten predictie-intervallen. Ze geven slechts de 'bandbreedte' weer van de respons, gegeven de geselecteerde parameterminima en -maxima. Er ligt echter geen statistisch model aan ten grondslag. Eenzelfde methodiek is toegepast voor de modellering van de oppervlaktewaterkwaliteit in het project 'Monitoring Stroomgebieden' (Van Gerven et al., 2009a).

Bij de min-max analyse wordt voor elke relevante parameter p_i een minimumwaarde p_i^{min} en een maximumwaarde p_i^{max} vastgesteld. Hierbij wordt aangenomen dat de 2^k mogelijke parametersets fysisch tot de mogelijkheden behoren. Verder wordt aangenomen dat in het interval $[p_i^{min}, p_i^{max}]$ de responsvariabele $y_j = \int(p_i,\ldots)$ monotoon stijgend dan wel dalend is in $[p_i^{min}, p_i^{max}]$. Is dit niet het geval dan wordt de bandbreedte mogelijkerwijs onderschat, omdat er dan een y_j kan bestaan buiten het interval $[y_j (p_i^{min}), y_j (p_i^{max})]$. Voor k = 2 zijn dat bijvoorbeeld de volgende vier sets: $\{p_1^{min}, p_2^{min}\}$, $\{p_1^{min}, p_2^{max}\}$, $\{p_1^{max}, p_2^{min}\}$ en $\{p_1^{max}, p_2^{max}\}$.

3.1.1 Parameterisatie Buurserbeekmodel

Tabel 3.1 geeft de geselecteerde parameters met bijbehorende minimale en maximale waarden voor de min-max analyse van het Buurserbeekmodel. De parameters zijn geselecteerd op grond van hun onzekerheid in combinatie met hun naar verwachting grote invloed op de resultaten. De twee parameters die betrekking hebben op de sedimentatie van de minerale en de organische fractie zullen gezamenlijk gevarieerd worden waardoor ze samen een cluster vormen. Dit resulteert in totaal 4 parameterclusters. De voorgestelde range in parameters komt voort uit eerdere modeltoepassingen zoals het EuroHarp project (Schoumans et al., 2007) en toepassingen van het NUSWA model (voorloper NUSWALITE). De parameters met betrekking tot de biomassagroei en -sterfte zullen niet gevarieerd worden bij deze modellering. De parameterwaarden voor drijvende en wortelende waterplanten zijn gebaseerd op literatuurwaarden voor respectievelijk kroos en waterpest (Siderius et al, 2008), de meest voorkomende soorten in de Nederlandse kleine wateren. Er wordt aangenomen dat er geen riet groeit in de Buurserbeek. De processen behorend bij de parameters (in tabel 3.1) worden uitgebreid toegelicht in bijlage 1.

Tabel 3.1 Geselecteerde parameters voor min-max analyse bij Buurserbeekmodel.

Parameter	eenheid	cluster	gem.	min.	max.
Mineralisatiesnelheid	(d-1)	1	0.15	0.1	0.5
Denitrificatiesnelheid	(d-1)	2	0.05	0.01	0.2
Sorptiecapaciteit sediment voor min. P	(m^3/g)	3	0.0007	0.0001	0.001
Bezinkingssnelheid mineraal P	(m/d)	4	0.15	0.05	0.25
Bezinkingssnelheid organische fractie	(m/d)	4	0.05	0.05	0.1

3.1.2 Parameterisatie rietmodel

Bij het modelleren van de zuiverende werking van de rietvelden in het rietmodel worden naast de parameters die ook in het Buurserbeekmodel worden gevarieerd ook de parameters gevarieerd die de rietproductie sturen. Alleen de parameters waarvan de waarden niet goed bekend zijn worden onderworpen aan de min-max analyse. Bijbehorende waarden zijn weergegeven in tabel 3.2. Ten opzichte van het Buurserbeekmodel worden andere parameterwaarden aangenomen voor de denitrificatiesnelheid en bezinkingssnelheid voor mineraal P. De denitrificatiesnelheid is hoger omdat rietplanten een stimulerende werking hebben op de denitrificatie (Hansen & Andersen, 1981). Nader onderzoek moet uitwijzen hoe groot dit stimulerend effect is en of de gekozen denitrificatiesnelheid met bijbehorende range realistisch is. Sedimentatie van nutriënten is een verdwijnpost in NUSWALITE. In de rietvelden zullen de gesedimenteerde nutriënten grotendeels opgenomen worden door het riet. Om de gesedimenteerde nutriënten beschikbaar te maken voor de rietplant is daarom de sedimentatie van mineraal P in het model op nul gezet.

De Monod-coëfficiënten voor N en P zullen gezamenlijk gevarieerd worden alsmede het droge stofgehalte aan N en P. Dit resulteert in totaal zeven parameterclusters. Een beschrijving van de processen die de rietproductie sturen in NUSWALITE is te vinden in bijlage 2. Tevens wordt in de bijlage dieper ingegaan op de processen behorende bij de rietparameters die gevarieerd zullen worden.

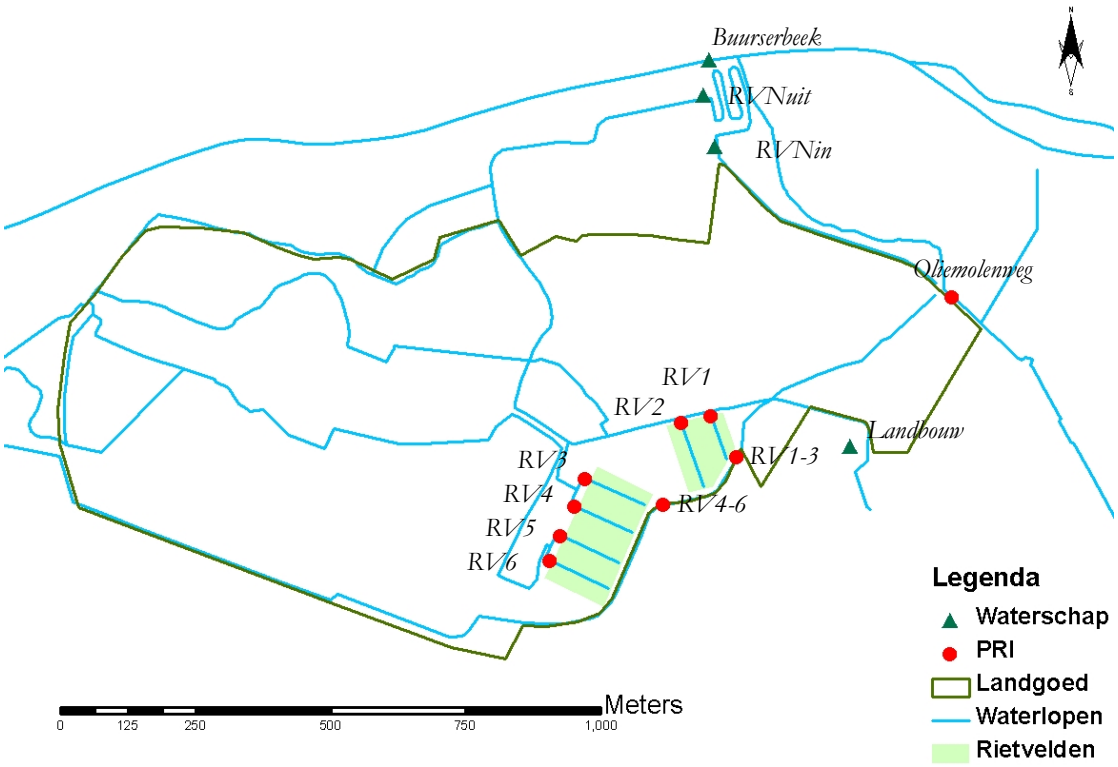
Tabel 3.2 Geselecteerde parameters voor min-max analyse bij rietmodel.

Parameter	eenheid	cluster	gem.	min.	max.
Denitrificatiesnelheid *	(d-1)	2	0.25	0.05	0.6
Bezinkingssnelheid mineraal P *	(m/d)	4	0	0	0
Lichtinterceptie coëfficiënt	(m^2/g)	5	0.03	0.01	0.1
Monod-coëfficiënt P	(g/m^3)	6	0.01	0.005	0.03
Monod-coëfficiënt N	(g/m^3)	6	0.1	0.05	0.3
Gehalte P in droge rietbiomassa	(gP/g)	7	0.0015	0.0012	0.0018
Gehalte N in droge rietbiomassa	(gN/g)	7	0.015	0.012	0.018

* Parameterwaarden aangepast t.o.v. het Buurserbeekmodel.

3.2 Toetsing modelresultaten aan meetgegevens

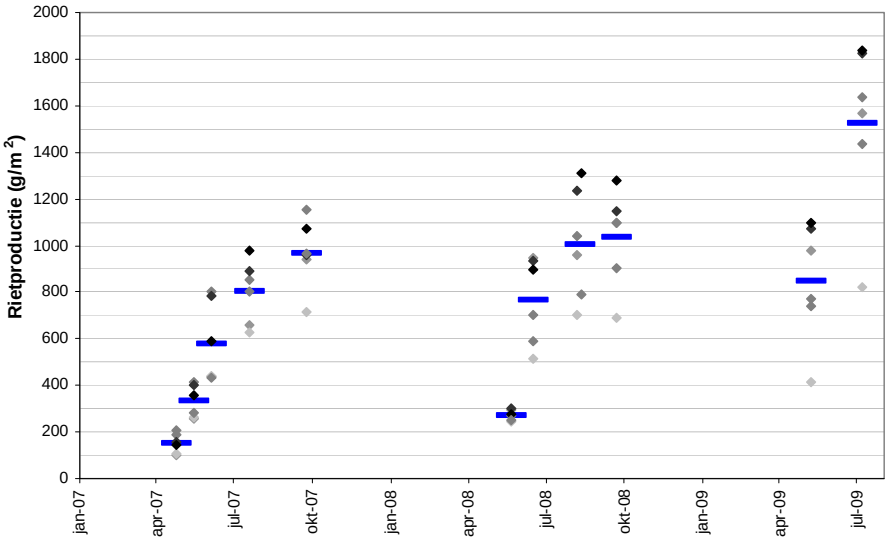
Vanaf 2007 zijn op een aantal locaties in en rondom het landgoed metingen van nutriëntenconcentraties verricht door het waterschap en PRI (zie figuur 3.1). Metingen afkomstig van het waterschap betreffen tweewekelijkse gemeten nutriëntenconcentraties, metingen afkomstig van PRI betreffen wekelijkse tot tweewekelijkse debietproportionele gemeten nutriëntenconcentraties. De meetgegevens zullen worden gebruikt voor de toetsing van de modelresultaten van het Buurserbeekmodel en het rietmodel. Door technische problemen met pompinstallaties zijn er beperkt debietproportionele meetgegevens beschikbaar voor 2007 en 2008.



Figuur 3.1 Meetlocaties waterkwaliteit en locatie van de zuidelijke rietvelden. Locaties RV 1-3 en RV 4-6 zijn de kwaliteitsmeetpunten voor de inlaten van rietvelden 1 t/m 6 (randvoorwaarde). De locaties RV1 t/m RV6 zijn de kwaliteitsmeetpunten voor de uitlaten van de rietvelden 1 t/m 6 (toetsing).

Tevens worden de rietproducties, gesimuleerd met het rietmodel, vergeleken met de gemeten rietproductie. Gedurende het groeiseizoen van 2007, 2008 en het begin van 2009 is de rietproductie in een aantal meetrondes bepaald (PRI). Per meetronde werden drie samples genomen per rietcompartiment, wat neerkomt op 9 samples per rietveld. Gemeten waarden van de rietproductie in de zes zuidelijke rietvelden variëren sterk per compartiment van elk rietveld. In figuur 3.2 is de gemiddelde rietproductie per rietveld in grijstinten weergegeven. Het gaat hier om vijf metingen in 2007, vier metingen in 2008 en twee metingen in 2009. Doordat het riet op het landgoed nog in ontwikkeling is neemt de rietproductie elk jaar toe t.o.v. het voorgaande jaar. De rietproductie had in 2008 nog hoger kunnen zijn, maar een extreme hagelbui die plaatsvond op 22 juni 2008 richtte veel schade aan. In het model is dit niet meegenomen.

Alle rietvelden worden begin april gemaaid met uitzondering van veld 2 dat in het najaar wordt gemaaid. In het rietmodel wordt aangenomen dat de rietplant bestaat uit 25% wortel en 75% scheut. Bij het maaien wordt 95% van de scheut verwijderd. Na het maaien wordt verondersteld dat alle energie in het herstel van de scheut wordt gestoken. Wanneer de verdeling tussen wortel en scheut weer gelijk is aan 25% wortel en 75% scheut wordt bij toenemende rietproductie deze verdeling aangehouden.



Figuur 3.2 Gemeten rietproductie van de scheut voor de zes zuidelijke rietvelden, met in het grijs de spreiding van de gemeten rietproductie over de zes rietvelden en in het blauw de gemiddelde rietproductie.

4 Resultaten Buurserbeek

4.1 Toetsing Buurserbeekmodel aan waterkwaliteitsmetingen

De berekende waterkwaliteit van het Buurserbeekmodel wordt vergeleken met meetgegevens op een vijftal meetlocaties: Buurserbeek, Landbouw, Oliemolenweg, RVNin en RV1-3 (figuur 3.1). Figuur 4.1 toont de gemeten en berekende N en P concentraties van de hoofdloop (meetpunt 'Buurserbeek'), vlak na de vertakking naar Het Landgoed op ongeveer 8 kilometer van de Duitse grens. In bijlage 3 worden de gemeten en berekende nutriëntenconcentraties voor de overige locaties weergegeven. De bandbreedte (grijze markering) in figuur 4.1 geeft de onzekerheid van de modelresultaten weer als gevolg van min-max waarden van de parametersets uit tabel 3.1. Niet alle metingen vallen binnen de bandbreedte, wat aangeeft dat de onzekerheden in de snelheden van processen, die nutriënten in het oppervlaktewater omzetten, opslaan en verwijderen, het verschil met de gemeten waarden niet geheel kunnen verklaren. Dit geeft aan dat de invoer van het model (de nutriëntenbelasting) mogelijk fouten bevat. Door de relatief korte verblijftijd in het beektraject en geringe aanloop tot aan het landgoed is het model zeer gevoelig voor de opgelegde nutriëntenbelasting. De processen die aangrijpen op de nutriënten in het oppervlaktewater hebben hierdoor weinig tijd om hun werk te doen.

De grootste nutriëntenaanvoer komt vanuit Duitsland en is opgelegd op basis van maandelijkse waterkwaliteitsmetingen. Daarbij worden gedurende het stroomtraject nutriënten toegevoegd aan het oppervlaktewater door uitspoeling vanuit het landsysteem, gesimuleerd op tiendaagse basis door STONE. Ondanks de beperkte frequentie van de opgelegde nutriëntenbelasting ontlopen de modelresultaten en de metingen elkaar niet veel.

Aanvullende op de visuele presentatie in figuur 4.1 en de figuren in bijlage 3 zijn in tabel 4.1 de verschillen tussen de gemeten en berekende nutriëntenconcentraties kwantitatief weergegeven. De resultaten zijn gemiddeld over het aantal metingen. Tevens is de standaarddeviatie van het verschil (gemeten minus berekend) weergegeven.

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^{n} \left(x_i - x_{gem}\right)^2 \qquad (4.1)$$

Waarin:

Term	Omschrijving
s^2	standaard deviatie
n	aantal metingen
x_i	gemeten waarde minus berekende waarde
x_{gem}	rekenkundig gemiddelde van de gemeten minus berekende waarden

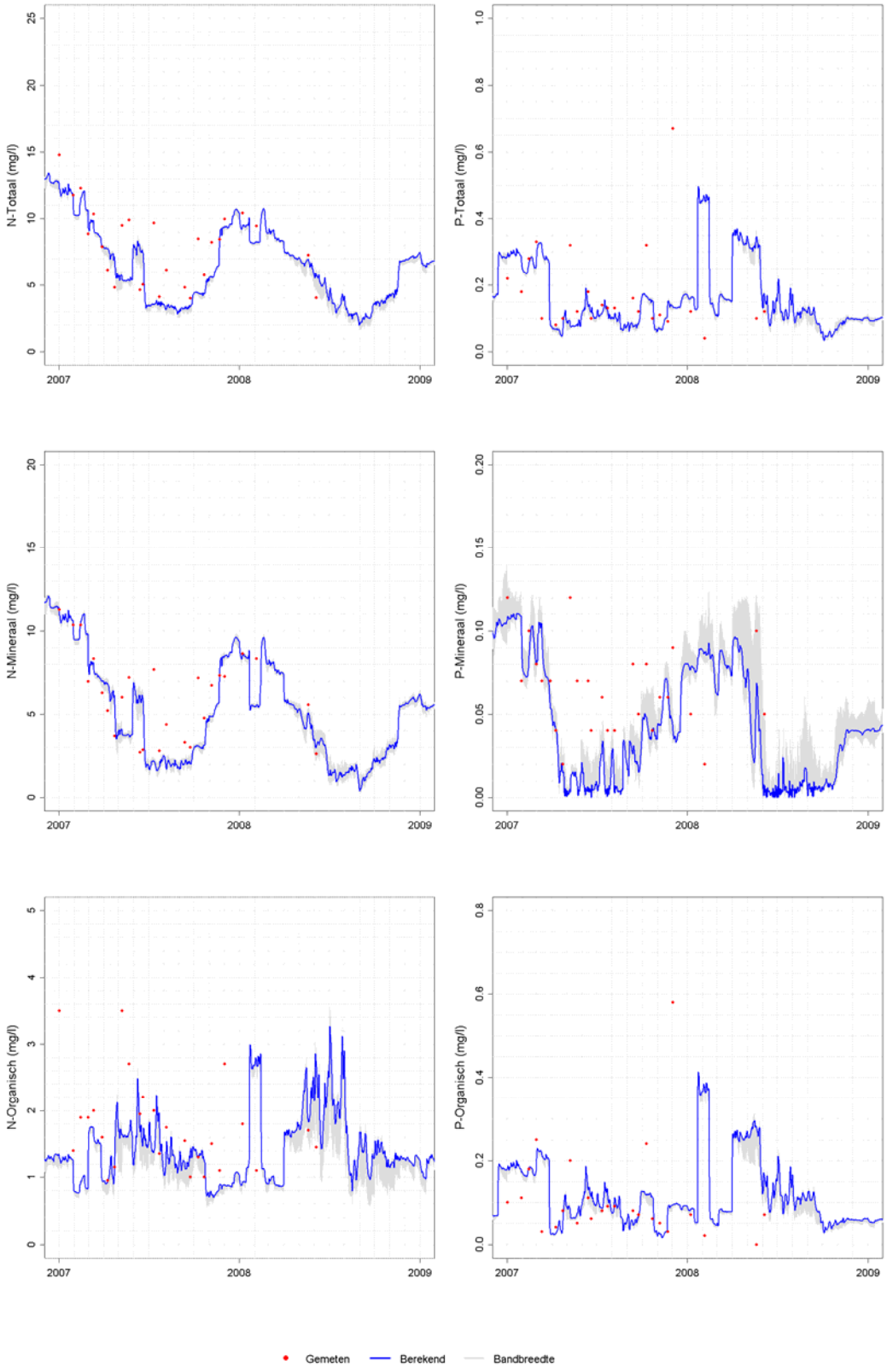
Tabel 4.1 Resultaten Buurserbeekmodel, gemeten en berekende nutriëntenconcentraties, gemiddeld (gem.) over het aantal metingen. Tevens is de standaarddeviatie (stdev) van het verschil tussen gemeten en berekende nutriënten-concentraties gegeven.

Locatie	N totaal (mg/l)			P totaal (mg/l)		
	Gemeten (gem.)	Berekend (gem.)	Stdev	Gemeten (gem.)	Berekend (gem.)	Stdev
1 Buurserbeek	7.95	6.98	2.21	0.17	0.17	0.17
2 Landbouw	8.35	10.90	6.42	0.14	0.13	0.12
3 Oliemolenweg*	7.40	7.17	3.53	0.13	0.17	0.10
4 RVNin	7.98	8.90	3.41	0.17	0.15	0.19
5 RV 1-3	7.26	6.84	2.72	0.10	0.15	0.09

* Debietsproportioneel.

Met uitzondering van de vergelijking ter plaatse van het 'Landbouw' meetpunt (figuur 3.1) is het gemiddelde verschil tussen de gemeten en berekende nutriënten-concentraties vrij klein, voor N totaal tot ca. 1.0 mg/l en voor P totaal tot ca. 0.05 mg/l. Het 'Landbouw' meetpunt wordt, in tegenstelling tot de andere meetpunten, niet beïnvloed door de nutriëntenaanvoer vanuit Duitsland maar puur door de nutriëntenbelasting van het achterliggende landbouwgebied. Het betreft een klein stroomtraject en daardoor worden de waterkwaliteitsprocessen in het oppervlakte-water nauwelijks beïnvloedt. De modelresultaten op dit meetpunt wijken nauwelijks af van de met STONE berekende nutriëntenafvoeren die met de hydrologie van SIMGRO vertaald worden naar nutriëntenconcentraties. Voor het vergelijk van modelresultaten op het 'Landbouw' punt met de metingen is het schaalniveau waarop de uitspoeling vanuit het landelijk gebied is gedefinieerd te grof. Dit aspect in combinatie met een mogelijk verkeerd ingeschatte waterafvoer, die bij kleine afvoeren grote gevolgen kan hebben voor de berekende concentraties, verklaren de verschillen tussen de gemeten en berekende nutriëntenconcentraties op dit punt. De overige locaties hebben een langere aanlooproute met een groter achterland waardoor verkeerde inschattingen van de nutriëntenbelasting als gevolg van een te grove schematisatie eerder uitmiddelen. Gecombineerd met de grotere waterafvoeren (en dus kleinere invloed van een bepaalde afwijking in de gemodelleerde afvoeren) leidt dit in het algemeen tot een robuustere waterkwaliteitsberekening.

De standaarddeviatie van het verschil tussen gemeten en berekende nutriënten-concentraties bedraagt, afgezien van het 'Landbouw' meetpunt, 25 tot 50% van de gemiddelde berekende waarden voor N totaal en voor P totaal 85 tot 115% (zie tabel 4.1). De afwijking is voornamelijk het gevolg van de lage frequentie van opgelegde nutriëntenbelasting, waardoor het onmogelijk is om alle kleine fluctuaties in de tijd goed te simuleren. Ondanks deze beperkingen in de modelinvoer is het verschil tussen gemeten en berekende nutriëntenconcentraties acceptabel te noemen.



Figuur 4.1 Vergelijking gemeten en berekende nutriëntenconcentraties ter plaatse van de Buurserbeek (voor locatie zie Figuur 3.1).

4.2 Zuiverende werking Buurserbeek

Om een beeld te krijgen van de zuiverende werking van de Buurserbeek, is het traject vanaf het landgoed tot het uitstroompunt van het Buurserbeekmodel geselecteerd met een lengte van 8 kilometer en doorgerekend met het model (zie figuur 2.3). Dit traject heeft geen instroom van zijwatergangen en er is weinig interactie met het omliggende gebied waardoor inkomende vrachten vanuit het landelijk systeem minimaal zijn. In tabel 4.2 en 4.3 zijn de met het model berekende nutriëntbalansen van N en P weergegeven voor het zomerhalfjaar dat loopt van 1 april tot 1 oktober. De nutriëntenbalans voor het winterhalfjaar is weergegeven in bijlage 4, maar zal niet uitvoerig besproken worden in deze studie. De nutriëntenbalans voor het zomerhalfjaar ziet er als volgt uit:

$$Aanvoer - (Afvoer + Verwijdering + Maaibeheer) = \Delta Opslag \qquad (4.2)$$

Waarin:

Term	Omschrijving	Dimensie
Aanvoer	Aanvoer van nutriënten (vanuit Duitsland en vanuit modelgebied via uitspoeling vanuit het landsysteem)	massa
Afvoer	Nutriëntenafvoer via uitstroompunt en via infiltratie naar landsysteem	massa
Verwijdering	Definitieve verwijdering van nutriënten (via denitrificatie en irreversibele sedimentatie)	massa
Maaibeheer	Verwijdering van nutriënten door het maaien van waterplanten	massa
Δ Opslag	Verschil in berging van nutriënten. Nutriënten kunnen worden opgeslagen in het sediment, in de waterkolom of in waterplanten	massa

Tabel 4.2 N balans voor het zomerhalfjaar in de Buurserbeek vanaf 2002 tot 2009.

Jaar	N balans (10^3 kg)					N balans (% van aanvoer)			
	Aan-voer	Δ Opslag	Verwij-dering	Maai-beheer	Afvoer	Δ Opslag	Verwij-dering	Maai-beheer	Afvoer
2002	107.6	0.1	1.9	0.3	105.3	0.1	1.8	0.3	97.8
2003	64.0	-0.4	1.6	0.1	62.7	-0.6	2.5	0.2	97.9
2004	57.8	-0.3	1.7	0.2	56.2	-0.5	2.9	0.3	97.3
2005	88.4	-0.6	1.9	0.1	87.0	-0.7	2.1	0.1	98.5
2006	77.8	-0.6	1.8	0.1	76.5	-0.7	2.3	0.1	98.3
2007	55.2	-0.1	1.6	0.1	53.6	-0.3	3.0	0.2	97.1
2008	52.1	-0.6	1.6	0.1	51.0	-1.1	3.1	0.2	97.8

Tabel 4.3 P balans voor het zomerhalfjaar in de Buurserbeek vanaf 2002 tot 2009.

Jaar	P balans (10^3 kg)					P balans (% van aanvoer)			
	Aan-voer	Δ Opslag	Verwij-dering	Maai-beheer	Afvoer	Δ Opslag	Verwij-dering	Maai-beheer	Afvoer
2002	2.47	0.01	0.11	0.02	2.33	0.6	4.3	0.8	94.3
2003	1.82	-0.01	0.09	0.01	1.73	-0.6	5.2	0.6	94.8
2004	1.34	-0.01	0.09	0.01	1.25	-0.4	7.1	1.0	92.3
2005	1.52	-0.02	0.08	0.01	1.45	-1.0	5.0	0.4	95.6
2006	1.99	-0.02	0.11	0.00	1.90	-0.8	5.3	0.2	95.3
2007	0.98	0.00	0.06	0.01	0.91	0.3	6.0	0.9	92.8
2008	2.17	-0.04	0.12	0.01	2.08	-1.6	5.3	0.3	96.0

Er is rekening gehouden met een jaarlijkse maaironde die begin augustus plaatsvindt. Hierbij wordt aangenomen dat 50% van de wortelende en drijvende waterplanten uit het systeem worden verwijderd. In de tabellen 4.2 en 4.3 is te zien dat het verschil in opslag aan het begin en einde van de groeiperiode klein is.

De natuurlijke zuivering van de beek is gelijk aan de hoeveelheid nutriënten die door de beek worden vastgelegd (verschil in opslag) of verwijderd (denitrificatie, irreversibele sedimentatie en het maaibeheer). Gemiddeld over de jaren 2002 tot 2009 bedraagt de natuurlijke zuivering gedurende het zomerhalfjaar ca. 0.25%/km N en ca. 0.75%/km P t.o.v. de aanvoer van nutriënten. Dit is grotendeels het gevolg van denitrificatie van N en sedimentatie van N en P. Het maaibeheer heeft een zeer gering effect op de nutriëntenbalans (voor N ca. 0.01-0.03%/km en voor P ca. 0.02-0.14%/km). Gedurende het winterhalfjaar is het zuiveringspercentage kleiner dan in het zomerhalfjaar: ca. 0.12%/km N en ca. 0.4%/km P t.o.v. de aanvoer van nutriënten (zie bijlage 4). De kleinere zuivering is te wijten aan de kortere verblijftijden in de winter waardoor de zuiveringsprocessen minder tijd hebben om hun werk te doen. Tevens zorgt de lagere temperatuur voor langzamere biochemische nutriëntenverwijdering (zoals denitrificatie). Absoluut gezien (in kg) is de zuivering in de winter echter groter omdat meer water (met hogere nutriëntenconcentraties) de beek doorstroomt dan in de zomer.

Literatuurwaarden voor de zuiverende werking van een beek
De zuiverende werking van een beek is afhankelijk van zeer veel factoren (die sterk kunnen variëren in de plaats en tijd) en daardoor moeilijk in te schatten. Een belangrijke factor is de verblijftijd van het water. Wanneer het water snel wordt getransporteerd heeft de beek nauwelijks tijd om het water te zuiveren. Waterplanten hebben ook een belangrijke invloed, doordat ze nutriënten opnemen voor hun groei, nutriënten afstaan bij sterfte, de stroomsnelheid remmen (bevordert sedimentatie) en de denitrificatie stimuleren (Eriksson & Weissner, 1997). De watertemperatuur (die sterk varieert in een jaar) beïnvloedt de snelheid van biochemische zuiveringsprocessen (bijv. denitrificatie). Irreversibele sedimentatie (sedimentatie minus opwelling) is het belangrijkste verwijderproces voor P (Reddy et al., 1999). Sedimentatie in beken wordt beïnvloed door stroomsnelheden, obstructies in de waterloop en de waterdiepte. Sorptie van P deeltjes aan het sediment heeft ook invloed op de (tijdelijke) zuiverende werking. Met name bij aanwezigheid van ijzerrijke kwel kan P goed hechten aan de ijzerdeeltjes onder zuurstofrijke omstandigheden (Macrae et al., 2003). De nutriëntenbelasting is van grote invloed op de hoeveelheid nutriënten die in de beek worden vastgelegd of verwijderd. In het geval van een kleine belasting kunnen bijvoorbeeld maar weinig nutriënten worden gezuiverd.

In de literatuur worden verschillende methodes beschreven waarmee de zuiverende werking van een beek wat betreft nutriënten, ook wel retentie genoemd, kan worden geschat. Voorbeelden van methodes zijn:

- het lokaal meten van verwijdersnelheden (denitrificatie, irreversibele sedimentatie);
- het opstellen van een massabalans voor een stroomgebied;
- het modelleren van de retentie met een procesmodel (zoals in deze studie gebeurt);
- het koppelen van retentie aan sturende factoren (bijv. verblijftijd, openwateroppervlak) via empirische relaties.

Een uitgebreid overzicht van gebruikte retentiemethodes is te vinden in Van Gerven et al. (2009b) en gaat in op de voordelen en beperkingen van de methodes.

In het EU-project EuroHarp (Hejzlar et al., 2009) worden beken verondersteld jaarlijks 84 gram N en 0,275 gram P te verwijderen per m^2 openwateroppervlak. Het onderzochte traject van de Buurserbeek (7,8 km lang) heeft een openwateroppervlak van ongeveer 72.500 m^2. De modelresultaten geven een N en P zomerhalfjaargemiddelde verwijdering weer van 26 gram N/m^2 en 1,4 gram P/m^2. Voor het winterhalfjaargemiddelde geven de modelresultaten een verwijdering weer van 32 gram N/m^2 en 2,4 gram P/m^2 (zie bijlage 4). Dit komt neer op een jaarlijkse verwijdering van ca. 58 gram N/m^2 en 3.8 gram P/m^2. De verwijdering van N in de Buurserbeek komt zeer goed overeen met de EuroHarp waarden. De P verwijdering in de Buurserbeek is een factor 14 groter. In de EuroHarp studie wordt aangegeven dat de P verwijdering voor beken mogelijk te laag is ingeschat (Kronvang et al., 2004). Voor dichtbegroeide (oever)zones werkt EuroHarp met een verwijdering van 5,5 gram P/m^2, wat meer overeenkomt met de in deze studie gevonden waarde.

De Klein (2008) heeft voor 13 Europese stroomgebieden (waarvan 8 in Nederland), met een oppervlak van 21 tot 486 km^2, de inkomende vrachten (modelresultaten) en de uitgaande vrachten (metingen) vergeleken om zo een retentiepercentage te berekenen. De jaarlijkse P retentie varieert voor de stroomgebieden tussen de 40% en 70% van de nutriëntenbelasting (invoer). De jaarlijkse N retentie bedraagt 20% tot 60%. Deze percentages zijn beduidend hoger dan de gevonden percentages voor de Buurserbeek. De percentages van De Klein (2008) hebben echter betrekking op het gehele stroomgebied inclusief greppels en slootjes. Juist in deze haarvaten van het watersysteem is de zuiverende werking het grootst vanwege de lange verblijftijden van het water. Het Buurserbeek traject in deze studie betreft alleen de hoofdloop (beek) waar het water relatief snel doorheen stroomt, wat de kleinere retentie percentages verklaart.

5 Resultaten rietvelden

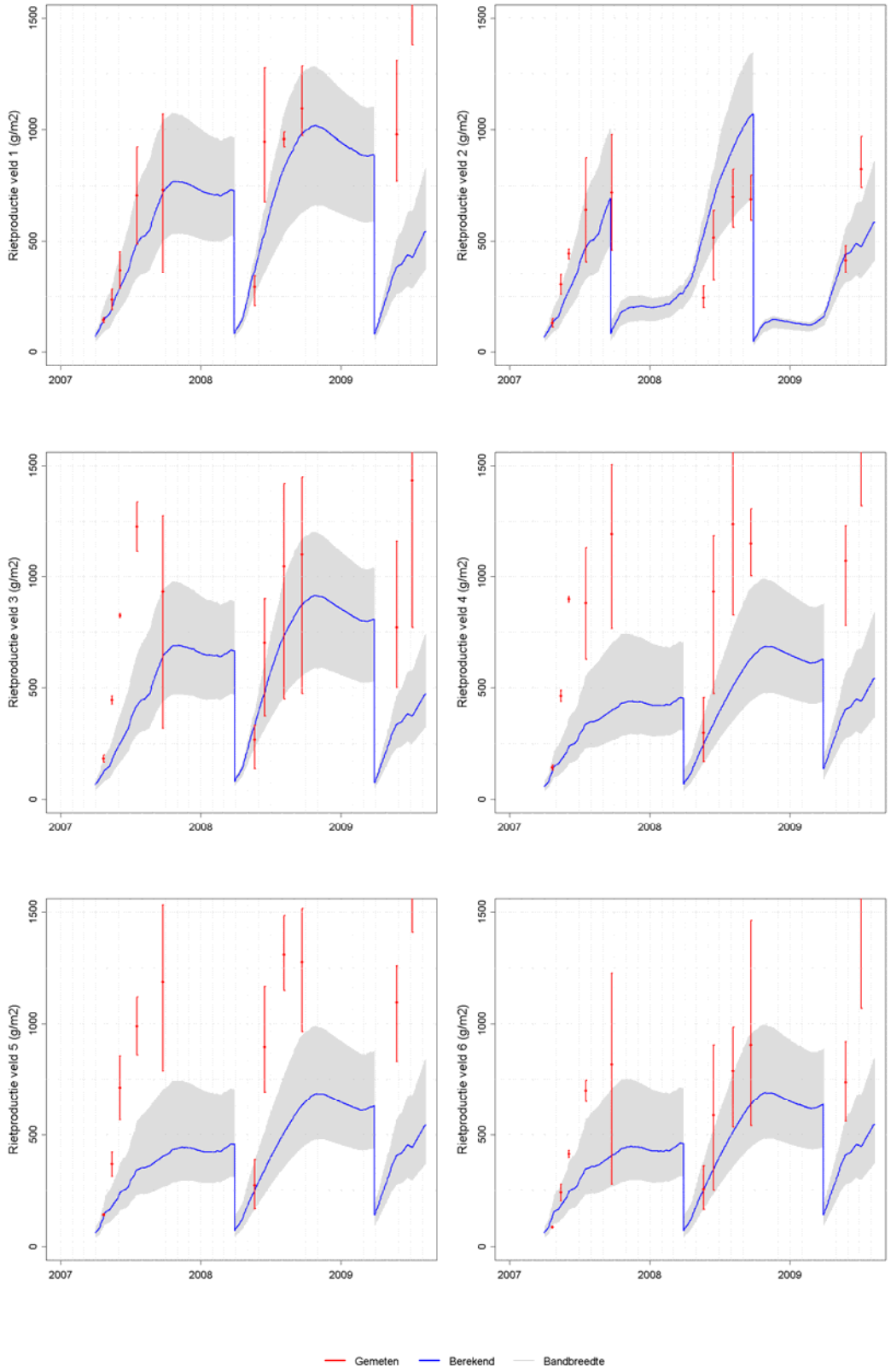
5.1 Toetsing model van de rietvelden

De resultaten van het rietmodel worden vergeleken met waterkwaliteitsmetingen en gemeten rietproducties. Eerst worden de gemeten en berekende rietproducties voor de zuidelijke rietvelden vergeleken. Vervolgens worden de berekende nutriëntenconcentraties bij het uitlaatpunt van de rietvelden vergeleken met metingen. Zoals aangegeven in hoofdstuk 3 zijn de gemeten nutriëntenconcentraties bij de inlaat van de rietvelden als randvoorwaarde opgelegd voor het model.

5.1.1 Berekende en gemeten rietproducties

Figuur 5.1 toont de gemeten en berekende rietproductie van de rietvelden. Het betreft hier alleen de productie van de scheut, de wortelmassa wordt dus niet beschouwd. In de figuur is terug te zien op welke momenten de rietvelden gemaaid worden. Alle rietvelden worden begin april gemaaid met uitzondering van veld 2 dat in het najaar wordt gemaaid. Het model gaat er van uit dat door het maaien 95% van de scheut wordt verwijderd. Door de grote variatie in de gemeten rietproducties is er voor gekozen in de figuren een productierange aan te houden per rietveld. Uit de figuur blijkt dat de berekende rietproductie van het model onder gemiddelde omstandigheden over het algemeen te laag is, afgezien van de veld 2. Voor rietveld 2 wordt zelfs een hogere productie berekend voor het jaar 2008. Deze overschatting heeft mogelijk te maken met het moment van maaien van rietveld 2 dat afwijkt van de andere rietvelden. Na het maaimoment in september 2007 berekent het model nog een kleine groeispurt van het riet in het najaar, die in werkelijkheid mogelijk niet heeft plaatsgevonden. Deze groeispurt legt de basis voor een grote rietproductie in 2008.

De berekende rietproductie in de velden 4 t/m 6 is vrijwel dezelfde. Dit komt doordat ze op dezelfde manier geschematiseerd zijn en een gelijke nutriëntenbelasting en hydrologie hebben. De velden 1 t/m 3 vertonen ondanks hun gelijke nutriëntenbelasting verschillen. Veld 2 heeft een andere rietproductie door het andere moment van maaien. Veld 1 verschilt van veld 3 doordat het oppervlak anders is; veld 1 en 2 hebben een oppervlak van ongeveer 0.36 hectare, de rietvelden 3 t/m 6 zijn met hun 0.44 hectare iets groter. Dit betekent dat in veld 3 minder nutriënten beschikbaar zijn per m^2 voor de groei van riet t.o.v. veld 1. Hierdoor wordt de rietgroei meer beperkt wat leidt tot een lagere rietproductie per m^2.



Figuur 5.1 Gemeten en berekende rietproductie van de scheut per rietveld in 2007, 2008 en 2009, in het blauw is de rietproductie bij gemiddelde parameterwaarden weergegeven (zie tabel 3.2).

Uit de min-max analyse (zie bijlage 5) blijkt dat de rietgroei sterk afhankelijk is van de Monod-coëfficiënten. Dit is te verklaren uit het feit dat er weinig mineraal P in het inlaatwater zit wat limiterend werkt op de rietgroei. De Monod-coëfficiënten bepalen in welke mate de groei beperkt wordt bij lage nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater. Met de opgelegde gemeten nutriëntenaanvoer worden ook onder gunstige parameterwaarden de gemeten rietproducties over het algemeen niet gehaald. Bijlage 6 geeft de berekende rietproducties wanneer nutriënten niet limiterend zijn voor de rietgroei. De gemeten rietproducties worden in het algemeen gehaald wat aangeeft dat de gebruikte productiefunctie in het model de waargenomen snelle rietgroei kan simuleren onder nutriëntongelimiteerde condities.

De berekende producties in de rietvelden 1 en 2 geven een redelijke benadering van de gemeten rietproducties, maar in de overige rietvelden is er een duidelijke onderschatting. Mogelijke oorzaak hiervoor is gelegen in een aantal simplificaties in NUSWALITE en SIMGRO met betrekking tot:

- benodigde hoeveelheid N en P voor rietgroei (NUSWALITE);
- remobilisatie nutriënten (NUSWALITE);
- opslag van nutriënten in het sediment (NUSWALITE);
- nalevering van nutriënten vanuit bodem (NUSWALITE);
- aanvoer van nutriënten (NUSWALITE).
- variatie in verblijftijden (SIMGRO).

Benodigde hoeveelheid N en P voor rietgroei
Het model gaat er van uit dat voor de groei van 1 gram riet 0.015 gram N en 0.0015 gram P nodig is. Het is niet zeker of deze hoeveelheden onder nutriëntgelimiteerde omstandigheden daadwerkelijk nodig zijn. Uit de metingen blijkt dat de rietplanten (zeker in 2009) flink groeien ondanks de kleine hoeveelheid P in het inlaatwater. Dit kan er op duiden dat de rietplant zich aanpast aan de nutriëntgelimiteerde omstandigheden en minder P nodig heeft voor de groei dan in NUSWALITE is aangenomen. Veranderingen in de opname van N en P zullen aanzienlijke effecten hebben op de berekende rietproductie en daarmee op de berekende zuivering van de rietvelden. Nader onderzoek zal uit moeten wijzen of de aangenomen opnamehoeveelheid van N en P juist is onder nutriëntgelimiteerde omstandigheden.

Remobilisatie nutriënten
Er wordt in NUSWALITE geen rekening gehouden met de (re)mobilisatie van nutriënten in de rietplant. Aan het einde van het groeiseizoen zullen nutriënten in de rietplant van de scheut naar de wortel worden getransporteerd (remobilisatie) en aan het begin van het groeiseizoen worden deze nutriënten weer naar de scheut getransporteerd (mobilisatie). De extra groeispurt aan het begin van het groeiseizoen als gevolg van de mobilisatie kan niet gesimuleerd worden door NUSWALITE, waardoor de gesimuleerde rietproductie lager zal uitvallen. Ook later in het groeiseizoen zal de rietproductie lager uitvallen, aangezien de groeiachterstand in het voorjaar doorwerkt naar het einde van het groeiseizoen.

Opslag van nutriënten in het sediment
Sedimentatie van nutriënten is een verdwijnpost in NUSWALITE; gesedimenteerde nutriënten worden dus niet opgeslagen in het sediment. Het idee hierachter is dat een deel van de gesedimenteerde nutriënten definitief begraven wordt in de waterbodem (Brenner et al., 2006). De sedimentatie in NUSWALITE representeert dit begraven deel. In de rietvelden zullen de begraven nutriënten deels opgenomen worden door het riet. Omdat met name mineraal P sedimenteert, juist die fractie die beperkend is voor de rietgroei, resulteert deze aanname in een lagere gesimuleerde rietproductie. Daarom is in deze studie besloten de sedimentatie van mineraal P op nul te zetten. In werkelijkheid wordt waarschijnlijk een deel van het in het winterhalfjaar gesedimenteerde mineraal P als voorraad gebruikt voor het nieuwe groeiseizoen. Deze voorraad wordt niet gesimuleerd door NUSWALITE.

Nalevering van nutriënten vanuit bodem
Een andere mogelijke verklaring voor de lage rietproducties in het model ligt in een onderschatting van de nalevering van nutriënten vanuit de ondergrond. Het gebruikte rietmodel houdt geen rekening met nalevering van zogenaamde nutriëntenrestanten. Voor de aanleg van de rietvelden was het landgebruik (bron: LGN3plus) ter plaatse van de rietvelden 1 en 2 bos en ter plaatse van rietvelden 3 tot en met 6 maïs (zie figuur 2.5 voor locaties rietvelden). Voordat het riet werd aangeplant is de nutriëntrijke toplaag afgegraven, zodat de kale zandgrond overbleef. Uit bodemmonsters blijkt dat met name de velden 3 t/m 5 nog nutriëntrestanten bevatten (bron: PRI). Voor P gaat het om maximaal enkele kg/ha in de bovenste 20 cm van de bodem. Wanneer het riet deze hoeveelheden zou gebruiken levert dit een extra rietgroei op van enkele tientallen g/m^2. Dit verklaart slechts een klein deel van het verschil tussen de gemeten en berekende producties.

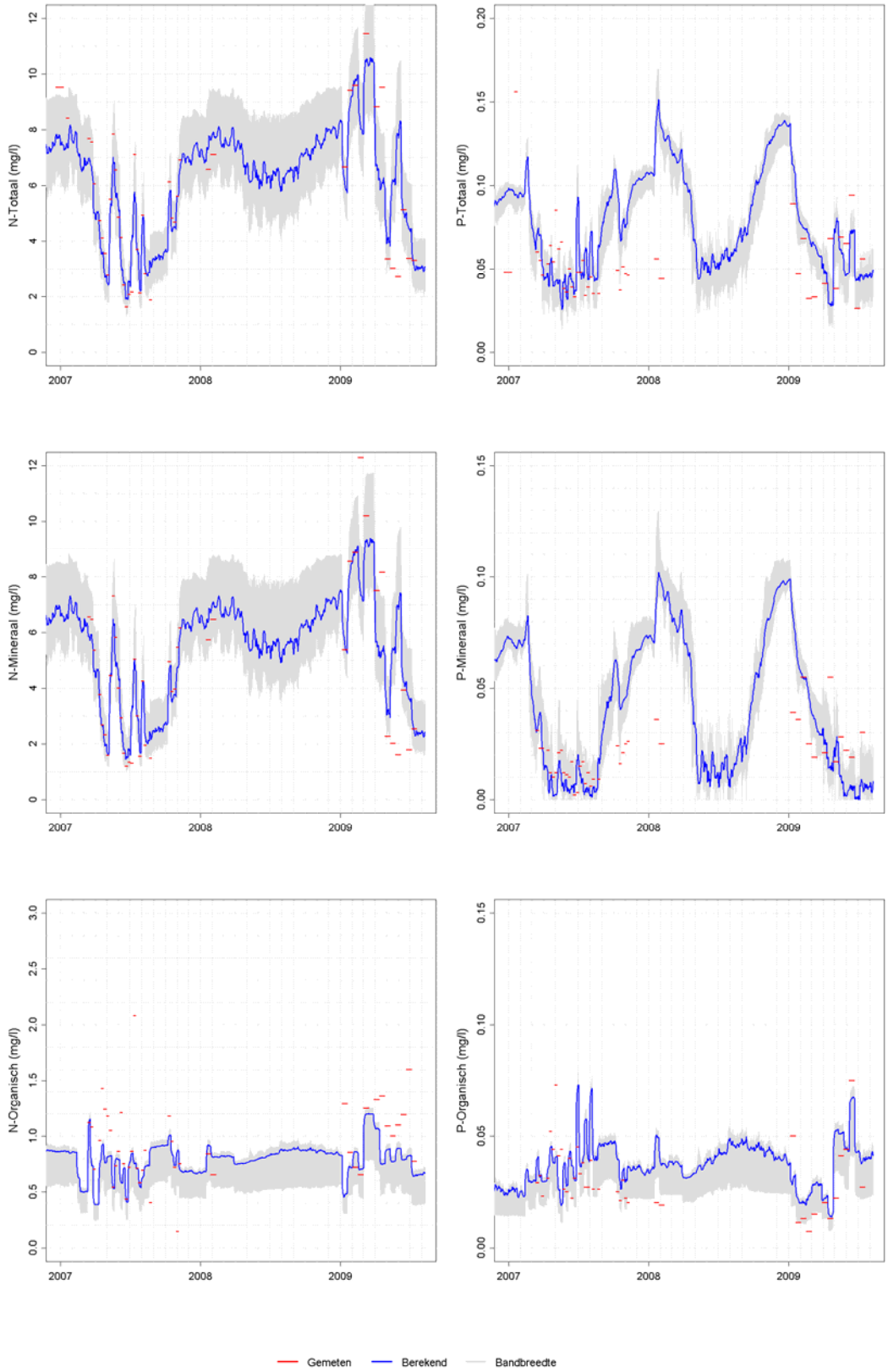
Aanvoer van nutriënten
Het constante debiet wat wordt ingelaten in de rietvelden wordt voorzien van nutriëntenvrachten door gemeten nutriëntenconcentraties te vermenigvuldigen met het debiet. Door technische storingen zijn er, vooral voor het jaar 2008, weinig waterkwaliteitsmetingen uitgevoerd. In perioden zonder meetwaarden wordt de laatste gemeten concentratie aangehouden. In het zomerhalfjaar van 2008 zijn geen metingen uitgevoerd wat resulteert in een constante nutriëntenbelasting gedurende deze periode (met als uitgangspunt de gemeten inlaatconcentraties in februari 2008).

Variatie in verblijftijden
Het ontbreken van waterkwantiteitsmetingen ter plaatse van de rietvelden maakt het goed simuleren van de rietproductie tot een lastige taak. In de opstartfase van het Lankheet project is veel gevarieerd met verblijftijden van het beekwater over verschillende compartimenten in de rietvelden. Verder zijn er door technische problemen perioden geweest waarbij helemaal geen beekwater is ingelaten. In het SIMGRO model worden de rietvelden in het geheel gemodelleerd, dus geen onderverdeling in compartimenten, en is er tevens een vast debiet aangehouden wat de rietvelden wordt ingelaten.

5.1.2 Toetsing nutriëntenconcentraties op de uitlaatpunten

Figuur 5.2 toont de gemeten en berekende nutriëntenconcentraties bij de uitlaat van rietveld 1. Resultaten voor de overige rietvelden zijn weergegeven in bijlage 7. Zoals aangegeven in de vorige paragraaf zijn er met name voor 2008 zeer weinig waterkwaliteitsmetingen beschikbaar. Voor het zomerhalfjaar in 2008 resulteert dit in een constante nutriëntenaanvoer. De dynamiek in de nutriëntenconcentraties op het uitlaatpunt in 2008 wordt dus puur veroorzaakt door de waterkwaliteitsprocessen en de opgelegde hydrologie (kwel/infiltratie) in de rietvelden. De berekende kwel en de daarmee gepaard gaande nutriëntenaanvoer is miniem (zie volgende paragraaf). Ongeveer 2 tot 4% van de nutriëntenafvoer verloopt via infiltratie (zie volgende paragraaf).

De meeste metingen vallen binnen de bandbreedte, berekend aan de hand van onzekerheden in de modelparameters (zie tabel 3.2). De bandbreedte is vrij breed wat aangeeft dat de gevarieerde modelparameters een groot effect hebben op de berekende nutriëntenconcentraties. De bandbreedte voor N wordt voornamelijk gestuurd door de denitrificatiesnelheid, opgegeven in het model. De bandbreedte voor P wordt voornamelijk gestuurd door de rietproductie, in tegenstelling tot de bandbreedte van N. Dit komt door de kleine hoeveelheden mineraal P in het aanvoerwater. Dit maakt de uitlaatconcentraties gevoelig voor de rietgroei die een groot deel van het beschikbare mineraal P uit het water kan halen. Varianten die de rietgroei stimuleren hebben daardoor (met name in het groeiseizoen) een groot effect op de uitgaande nutriëntenconcentraties. Organisch P kent ook een bepaalde bandbreedte: als gevolg van extra groei neemt de sterfte ook toe waardoor de afgestorven rietplanten organisch P aan het water toevoegen.



Figuur 5.2 Vergelijking gemeten en berekende nutriëntenconcentraties ter plaatse van uitlaat rietveld 1.

Tabel 5.1 geeft een kwantitatief beeld van de verschillen tussen de gemeten en berekende nutriëntenconcentraties op de uitlaatpunten van de rietvelden, gemiddeld over het aantal metingen. Net zoals in het Buurserbeekmodel is ook voor het rietmodel het gemiddelde verschil tussen de gemeten en berekende nutriëntenconcentraties vrij klein, voor N totaal tot ca. 0.8 mg/l en voor P totaal tot ca. 0.01 mg/l. Tevens geeft het model een redelijk beeld van de berekende dynamiek t.o.v. de gemeten dynamiek. De standaarddeviatie van het verschil tussen gemeten en berekende nutriëntenconcentraties is significant, maar niet zo groot als de gevonden waarden voor het Buurserbeekmodel. De standaarddeviatie bedraagt voor N totaal 10 tot 20% van de gemiddelde berekende waarden en voor P totaal bedraagt dit percentage 25 tot 50%. Het hoge percentage voor P totaal geeft aan dat het verschil tussen de gemeten en berekende waarden per meting gemiddeld gezien behoorlijk groter is dan voor N totaal.

Totaal N is in overvloed aanwezig in het inlaatwater waardoor de rietgroei een gering direct effect heeft op het N gehalte: de uitlaatconcentraties zijn, afgezien van het effect van denitrificatie (die deels wordt gestimuleerd door het riet) en sedimentatie, vergelijkbaar met de opgelegde inlaatconcentraties. Dit verklaart de kleine procentuele standaarddeviatie van het verschil tussen berekende en gemeten concentraties. Er zit daarentegen weinig totaal P in het inlaatwater. De opname van P voor de rietgroei heeft dus een groter effect op de P concentraties in het uitlaatwater. Dit verklaart de grotere procentuele standaarddeviatie van het verschil tussen berekende en gemeten.

Tabel 5.1 Resultaten rietmodel, gemeten en berekende nutriëntenconcentraties bij de uitlaatpunten, gemiddeld (gem.) over het aantal metingen. Tevens is de standaarddeviatie (stdev) van het verschil tussen gemeten en berekende nutriëntenconcentraties gegeven (zie vergelijking 4.1).

Locatie	N totaal (mg/l)			P totaal (mg/l)		
	Gemeten (gem.)	Berekend (gem.)	Stdev	Gemeten (gem.)	Berekend (gem.)	Stdev
Rietveld 1	5.03	4.77	0.81	0.05	0.06	0.03
Rietveld 2	5.72	5.03	0.82	0.06	0.07	0.03
Rietveld 3	5.65	4.89	1.09	0.07	0.07	0.03
Rietveld 4	4.79	4.57	0.71	0.06	0.06	0.03
Rietveld 5	4.91	4.74	0.84	0.07	0.06	0.02
Rietveld 6	4.80	4.81	0.54	0.06	0.06	0.03

5.2 Zuiverende werking rietvelden

In tabel 5.2 en 5.3 is de N en P balans weergegeven voor de modelberekeningen van de zes zuidelijke rietvelden voor het zomerhalfjaar 2007 en 2008. De N en P balans voor het winterhalfjaar is weergegeven in bijlage 8. De balansen geeft aan hoeveel van de aangevoerde nutriënten er door het riet worden opgenomen in het zomerhalfjaar (grootste deel van ΔOpsl.) en hoeveel nutriënten er definitief verwijderd worden door denitrificatie en sedimentatie in de rietvelden (Verw.). Het zomerhalfjaar loopt van 1 april tot 1 oktober. In deze periode wordt het riet niet gemaaid, waardoor er geen sprake is van verwijdering van nutriënten als gevolg van het maaien. Alleen het maaimoment van rietveld 2 valt binnen deze periode, namelijk eind september. Voor

een eerlijk vergelijk is voor rietveld 2 de periode met een paar dagen ingekort, tot het moment van maaien. De inkomende vrachten (Aanvoer) zijn voor de eerste drie en laatste drie rietvelden gelijk doordat de inkomende nutriëntenconcentraties op twee plaatsen zijn gemeten (zie figuur 3.1).

Tabel 5.2 N balans zuidelijke rietvelden voor het zomerhalfjaar 2007 en 2008 (Verw.=Verwijdering, inf.=infiltratie).

Jr	Riet-veld	N balans (kg)						N balans (%)		
		Aanvoer		Δ Opsl.	Verw.	Afvoer		Δ Opsl.	Verw.	Afvoer
		kwel	inlaat			inf.	uitlaat			
2007	Veld 1	0.0	524	35	131	10	348	6.6	25.1	68.3
	Veld 2	0.0	498	33	126	13	326	6.6	25.3	68.1
	Veld 3	0.0	524	37	150	15	322	7.1	28.6	64.3
	Veld 4	0.0	483	20	142	12	309	4.1	29.4	66.5
	Veld 5	0.0	483	20	142	10	311	4.1	29.5	66.4
	Veld 6	0.0	483	20	141	7	315	4.1	29.3	66.6
2008	Veld 1	0.2	910	53	227	20	610	5.8	25.0	69.2
	Veld 2	0.3	890	50	225	23	592	5.6	25.3	69.1
	Veld 3	0.2	910	57	260	26	567	6.3	28.6	65.1
	Veld 4	0.2	849	38	246	21	544	4.4	29.0	66.6
	Veld 5	0.2	849	38	247	19	545	4.4	29.1	66.5
	Veld 6	0.2	849	38	245	16	550	4.4	28.9	66.7

Tabel 5.3 P balans zuidelijke rietvelden voor het zomerhalfjaar 2007 en 2008 (Verw.=Verwijdering, inf.=infiltratie).

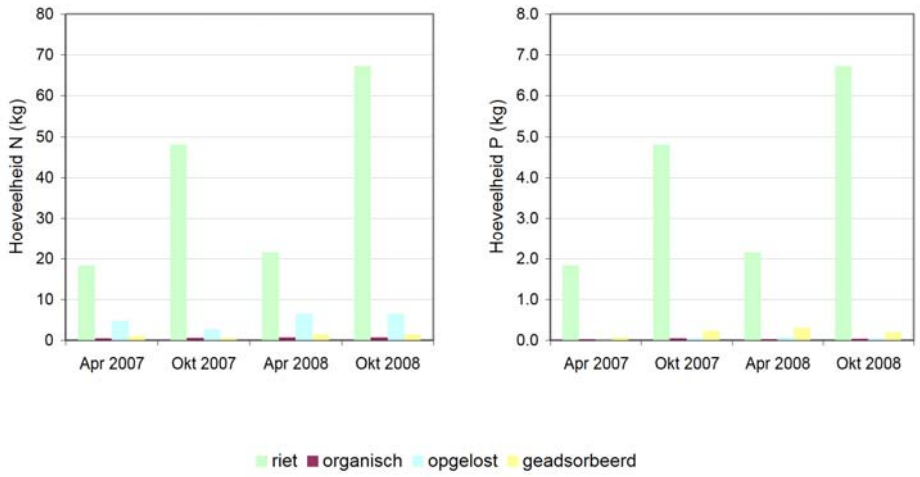
Jr	Riet-veld	N balans (kg)						N balans (%)		
		Aanvoer		Δ Opsl.	Verw.	Afvoer		Δ Opsl.	Verw.	Afvoer
		kwel	inlaat			inf.	uitlaat			
2007	Veld 1	0.0	10.3	3.8	1.4	0.2	4.9	37.3	13.4	49.3
	Veld 2	0.0	9.5	3.6	1.3	0.2	4.4	37.6	13.6	48.8
	Veld 3	0.0	10.3	4.1	1.6	0.2	4.4	39.8	15.3	44.9
	Veld 4	0.0	7.5	2.3	1.4	0.1	3.7	30.8	19.3	49.9
	Veld 5	0.0	7.5	2.3	1.5	0.1	3.6	30.9	19.4	49.7
	Veld 6	0.0	7.5	2.3	1.4	0.1	3.7	30.8	19.2	50.0
2008	Veld 1	0.0	12.6	5.2	1.3	0.2	5.9	41.2	10.6	48.2
	Veld 2	0.0	12.4	4.9	1.4	0.2	5.8	40.0	11.3	48.7
	Veld 3	0.0	12.6	5.6	1.6	0.2	5.2	44.7	12.3	43.0
	Veld 4	0.0	8.1	3.7	1.0	0.1	3.2	46.2	13.0	40.8
	Veld 5	0.0	8.1	3.7	1.0	0.1	3.2	46.2	13.0	40.8
	Veld 6	0.0	8.1	3.7	1.0	0.1	3.2	46.0	12.9	41.1

Gemiddeld wordt 27% van de N aanvoer en 14% van de P aanvoer gezuiverd door denitrificatie en sedimentatie (tabel 5.2 en 5.3). Dit aandeel ligt aanzienlijk hoger in vergelijking met de Buurserbeek, wat te verklaren is door de langere verblijftijden t.o.v. de Buurserbeek. In het stilstaande water (met geringe diepte) kunnen de nutriënten gemakkelijk sedimenteren en heeft denitrificatie voldoende tijd het water te zuiveren. Tevens stimuleert het riet de denitrificatie (Hansen & Andersen, 1981) waar het model rekening mee houdt (zie paragraaf 3.1.2).

Het verschil van de opslag aan het begin en einde van het zomerhalfjaar wordt niet alleen veroorzaakt door de rietproductie, maar geeft ook het verschil in opgelost nutriënten in de waterkolom en de bergingsverandering in het sediment (door sorptie

van nutriënten). In het zomerhalfjaar 2007 neemt de opslag gemiddeld met ca. 27 kg N en ca. 3.1 kg P toe per rietveld. Dit komt overeen met ca. 5% van de inkomende N vrachten en ca. 35% van de inkomende P vrachten. In het zomerhalfjaar 2008 is de opslag groter, mede door een grotere aanvoer van nutriënten (die constant is gedurende het zomerhalfjaar van 2008). Gemiddeld wordt er in 2008 ca. 46 kg N (ca. 5%) en 4.5 kg P (ca. 44%) per rietveld opgeslagen.

In figuur 5.3 is het gemiddelde verschil in opslag over alle zuidelijke rietvelden aan het begin en aan het einde van het zomerhalfjaar uitgesplitst in verschillende compartimenten. In bijlage 9 staan vergelijkbare figuren afgebeeld voor elk rietveld afzonderlijk. De eerste drie rietvelden hebben een hoger zuiveringsrendement dan de laatste drie rietvelden. In figuur 5.3 is te zien dat voor zowel N als P de opslag afneemt over het zomerhalfjaar met uitzondering van de nutriëntenopslag in het riet, dat sterk toeneemt. Gedurende het zomerhalfjaar wordt door de zuidelijke rietvelden in 2007 gemiddeld ca. 30 kg aan N en 3.0 kg aan P opgenomen door de rietvelden. In 2008 wordt er in het zomerhalfjaar gemiddeld 46 kg aan N en 4.6 kg aan P opgenomen. Dit betekent dat de rietvelden ca. 4 tot 8% van alle aangevoerde N-vrachten en ca. 30 tot 50% van alle aangevoerde P-vrachten opnemen.



Figuur 5.3 Specificatie van de opslag van N en P, gemiddeld over de zuidelijke rietvelden. 'Organisch' en 'opgelost' representeren de nutriënten opgelost in de waterkolom. 'Geabsorbeerd' geeft de hoeveelheid nutriënten die gehecht zijn aan het sediment.

Het zuiveringspercentage voor P als gevolg van de rietgroei ligt een stuk hoger dan het zuiveringspercentage voor N. Dit komt omdat er naar verhouding weinig P in het water zit t.o.v. N. De opnameverhouding voor de groei van riet van P t.o.v. N bedraagt 1:10. De verhouding P:N in het aanvoerwater is ongeveer 1:100. Bij een bepaalde rietgroei wordt er dus relatief meer P dan N uit het water gehaald. De hoeveelheid P in het water is zelfs zo klein dat het de rietgroei beperkt.

De uiteindelijke zuivering verschilt per rietveld. Door de natuurlijke zuivering (denitrificatie en sedimentatie) en het maaien van de rietvelden aan het einde van het zomerhalfjaar is het mogelijk om 32 tot 36% van de inkomende N-vrachten en 50 tot 59% van de inkomende P-vrachten uit het inlaatwater te halen. De berekende totale

zuiverende werking per rietveld is afhankelijk van het oppervlak. Een groter oppervlak betekent meer sedimentatie, meer adsorptie aan het sediment en meer denitrificatie, en dus meer zuivering. Anderzijds leidt het grotere oppervlak (en watervolume) tot lagere nutriëntenconcentraties (bij een zelfde belasting) waardoor de rietproductie per m^2 kleiner is. De vraag is of de productie voor het totale rietveld ook kleiner is.

Op grond van de metingen wordt een gemiddelde N zuivering berekend van 40% en een gemiddelde P zuivering van 46%, in mei-juli 2007 (persoonlijke communicatie Bastiaan Meerburg (PRI)). Vergeleken met deze waarden onderschat het model de N zuivering en wordt de P zuivering overschat.

De lichte onderschatting van de N zuivering komt deels door een te laag berekende rietproductie in combinatie met een mogelijk foutieve waarde voor de denitrificatie snelheid. De N zuivering wordt met name bepaald door de denitrificatie. Nader onderzoek naar de stimulerende invloed van rietplanten op de denitrificatie (Hansen & Andersen, 1981) is nodig om een plausibele denitrificatiesnelheid op te geven in het model. Deze snelheid is nu constant verondersteld in het model terwijl deze in werkelijkheid afhankelijk zal zijn van de hoeveelheid riet. Voor hoge rietproducties echter, zoals gevonden op landgoed Het Lankheet, is een constante snelheid een goede eerste benadering aangezien het onderwaterdeel van de rietplant, die de extra denitrificatie stuurt, volgroeid is.

De overschatting van de P zuivering komt doordat het riet voor de groei niet al het benodigde P uit het water haalt, zoals het model veronderstelt. De rietplant is deels zelfvoorzienend wat betreft nutriënten (remobilisatie) en lijkt zich aan te passen aan de fosfaatarme omstandigheden. De rietplanten lijken minder P nodig te hebben voor hun groei dan we aannemen in het model, waardoor het riet in werkelijkheid, ondanks de geringe hoeveelheid P in de bodem en in het water, flink groeit. Het is interessant om dit aspect nader te onderzoeken.

6 Conclusies

In deze studie ligt de nadruk op het modelleren van de toevoer en het transport van nutriënten in het stroomgebied waarin het landgoed zich bevindt, met specifieke aandacht voor het kwantificeren van de extra zuiverende werking van de rietvelden t.o.v. de natuurlijke zuiverende werking van de Buurserbeek. De resultaten van deze studie zullen later gebruikt worden om het effect op de waterkwaliteit te voorspellen van de grootschalige toepassing van rietvelden elders in Nederland.

Door Plant Research International (PRI) zijn meetgegevens beschikbaar gesteld van de waterkwaliteit van het inlaatwater ca. 500 m stroomopwaarts van de rietvelden, het water wat de rietvelden wordt ingelaten en het water bij de uitstroompunten van de velden. Verder zijn er door PRI meetgegevens beschikbaar gesteld van de productie van de rietvelden gedurende het zomerhalfjaar 2007, 2008 en het eerste gedeelte van 2009. Het waterschap Rijn en IJssel heeft meetgegevens van de waterkwaliteit in de Buurserbeek beschikbaar gesteld.

Met een modelinstrumentarium is de zuiverende werking van de rietvelden berekend voor 2007 en 2008. SIMGRO is gebruikt om de hydrologische situatie in de rietvelden te simuleren (inlaatwater, uitlaatwater en kwel/infiltratie) (Mulder en Querner, 2008). Het model NUSWALITE is ingezet om de rietproductie en het effect hiervan op de waterkwaliteit (N en P) te simuleren, alsmede het effect van processen zoals denitrificatie en sedimentatie te berekenen. De gemeten nutriëntenconcentraties van het inlaatwater van de rietvelden zijn gebruikt als uitgangspunt voor de waterkwaliteitsberekening. De belangrijkste bevindingen van de modelresultaten zijn:

- De zuiverende werking varieert per rietveld: in het zomerhalfjaar (2007, 2008) wordt 32 tot 36% van de aangevoerde N vrachten gezuiverd, voor P bedraagt de zuivering 50 tot 59%. Op grond van de metingen wordt een gemiddelde N zuivering berekend van 40% en een gemiddelde P zuivering van 46%, in mei-juli 2007 (persoonlijke communicatie Bastiaan Meerburg, PRI). De onderschatting van de N zuivering komt deels door een te laag berekende rietproductie. De N zuivering wordt echter met name bepaald door de denitrificatie. Door de stimulerende werking van rietplanten op de denitrificatie (Hansen & Andersen, 1981) is in deze studie een hogere denitrificatiesnelheid ingesteld voor de rietvelden (zie paragraaf 3.1.2). Nader onderzoek naar deze stimulerende invloed is nodig om een plausibele denitrificatiesnelheid op te geven in het model. De overschatting van de P zuivering komt doordat het riet voor de groei niet al het benodigde P uit het water haalt, zoals het model veronderstelt. De rietplant is deels zelfvoorzienend wat betreft nutriënten en lijkt zich aan te passen aan de fosfaatarme omstandigheden resulterend in minder P opname uit het water.
- De nutriëntenopname van het riet in het zomerhalfjaar bedraagt 4 tot 8% van de inkomende N vrachten, en 30 tot 50% van de inkomende P vrachten. De resterende zuivering wordt met name veroorzaakt door denitrificatie (N) en sedimentatie (P en in kleine mate N). De opnameverhouding van het riet (N:P) bedraagt 10:1 in het model.

- De gesimuleerde rietproducties zijn, afgezonderd van rietveld 2, structureel lager dan de gemeten producties. Een aantal oorzaken liggen hier aan ten grondslag. Ten eerste houdt het model geen rekening met de remobilisatie van nutriënten in de rietplant. Dit houdt in dat in het najaar nutriënten van de scheut naar de wortel worden getransporteerd om ze in het voorjaar aan te wenden voor de rietgroei. Het model kan deze extra groeispurt niet simuleren waardoor het een 'groeiachterstand' heeft. Ten tweede lijkt het erop dat de rietplanten zich aanpassen aan de fosfaatarme omstandigheden in het aanvoerwater. Ze lijken minder P nodig te hebben voor hun groei dan we aannemen in het model, waardoor het riet in werkelijkheid, ondanks de geringe hoeveelheid P in de bodem en in het water, flink groeit. Het is interessant om dit aspect nader te onderzoeken.
- De berekende bandbreedte van nutriëntenconcentraties in het uitlaatwater, berekend aan de hand van onzekerheden in de modelparameters, komen redelijk overeen met de gemeten concentraties. Voor N zijn de berekende uitlaatconcentraties sterk afhankelijk van de denitrificatie. Voor P zijn de berekende nutriëntenconcentraties sterk afhankelijk van de rietproductie.

Ter vergelijk is de zuiverende werking van een traject van de Buurserbeek (met een lengte van 8 km) stroomafwaarts van het landgoed berekend, met hetzelfde modelinstrumentarium. Dit traject is geselecteerd vanwege relatief lage nutriëntenbelasting gedurende het traject. De aanlooproute naar dit traject vanuit de Duitse grens (modelrand) is 10 km. De inkomende nutriëntenstroom is afhankelijk van de opgelegde maandelijkse nutriëntenbelasting op de Duitse grens, de toevoeging van nutriënten (uitspoeling) in de aanlooproute en de vastlegging en verwijdering van nutriënten in de aanlooproute. Voordat de zuiverende werking van het traject is berekend, zijn de modelresultaten van de aanlooproute vergeleken met de gemeten waterkwaliteit op een aantal locaties. Ondanks de beperkte frequentie van de opgelegde nutriëntenbelasting (maandelijks) ontlopen de modelresultaten en de metingen elkaar niet veel.

De belangrijkste bevindingen wat betreft de zuiverende werking van het geselecteerde beektraject zijn:

- Gemiddeld over de jaren 2002 tot 2009 bedraagt de zuivering in het zomerhalfjaar 0.25%/km van de inkomende N vrachten en 0.75%/km van de inkomende P vrachten. Dit komt neer op een verwijdering van 26 gram N/m^2 en 1,4 gram P/m^2. Voor het winterhalfjaargemiddelde geven de modelresultaten een verwijdering weer van 32 gram N/m^2 en 2,4 gram P/m^2.
- De zuivering wordt grotendeels veroorzaakt door denitrificatie van N en sedimentatie van mineraal en organisch N en P. Het maaibeheer, waarmee begin augustus 50% van de wortelende en drijvende waterplanten worden verwijderd, heeft een zeer gering effect op de zuiverende werking.
- De gevonden zuivering komt overeen met waarden voor beken gegeven in de EuroHarp studie (Hejzlar et al., 2009), waarin voor verschillende watertypen het zuiverend vermogen is afgeleid op grond van eerdere onderzoeken en metingen.

Om een idee te krijgen van de onzekerheden in de modelresultaten zijn de meest onzekere parameterwaarden in het waterkwaliteitsmodel gevarieerd. Dit resulteert in een bandbreedte rond de resultaten als gevolg van andere snelheden van processen die nutriënten in het oppervlaktewater omzetten, verwijderen of opslaan. De nutriëntenconcentraties in de Buurserbeek worden nauwelijks beïnvloed door veranderde processnelheden. Dit komt door de korte verblijftijd van het water (snelle stroming) waardoor de processen weinig tijd krijgen het water te zuiveren (dit verklaart de gevonden lage zuiveringspercentages). Als gevolg hiervan is de berekende waterkwaliteit sterk afhankelijk van de nutriëntentoevoer. Het feit dat sommige metingen buiten de berekende bandbreedte liggen wordt met name veroorzaakt door een verkeerde inschatting van de nutriëntenbelasting, bijvoorbeeld door de beperkte frequentie van de opgelegde nutriënteninstroom vanuit Duitsland (maandelijks).
De rietproductie in het model is met name gevoelig voor processen die de beschikbaarheid of opname van mineraal P beïnvloeden, aangezien er weinig mineraal P in het aanvoerwater zit wat de rietgroei beperkt.

Literatuur

Brenner, M., D.A. Hodell, J.H. Curtis, W.F. Kenney, B. Gu, J.M. Newman & B.W. Leyden. 2006. *Mechanisms for organic matter and phosphorus burial in sediments of a shallow, subtropical, macrophyte-dominated lake.* Journal of Paleolimnology, Vol 35, pp 129-148.

Cultuurtechnische Vereniging, 1988. *Cultuur technisch vademecum*, Utrecht.

Enfield, C.G., T. Phan, D.M. Walters & R. Ellis Jr., 1981. *Kinetic model for phosphate transport and transformation in calcareous soils: I. Kinetics of transformation.* Soil Sci. Soc. Am. J. 45: 1059-1064.

Eriksson, P.G. & S.E.B. Weisner,1997. *Nitrogen removal in a wastewater reservoir: The importance of denitrification by epiphytic biofilms on submersed vegetation.* Journal of Environmental Quality, Vol. 26, pp. 905-910.

Eriksson, P.G. & S.E.B. Weisner, 1999. *An experimental study on effects of submersed macrophytes on nitrification and denitrification in ammonium-rich aquatic systems.* Limnol. Oceanogr. Vol 44, pp 1993–1999

Gerven, L.P.A. van, H.M. Mulder, C. Siderius, T.P. van Tol-Leenders & A.A.M.F.R. Smit, 2009a. *Analyse van de invloed van processen op de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater - Een modelstudie.* Wageningen, Alterra-rapport 1855.

Gerven, L.P.A. van, A.A.M.F.R. Smit, P. Groenendijk, F.J.E. van der Bolt & J.J.M. de Klein, 2009b. *Retentieschatting van N en P in het oppervlaktewater op verschillende schaalniveaus.* Wageningen, Alterra-rapport 1848.

Gumbricht, T., 1993. *Nutrient removal processes in freshwater submersed macrophytes systems.* Ecol. Eng., vol 2, pp 1-30.

Hansen, J.I. & F.O. Andersen, 1981. *Effects of Phragmites australis roots and rhizomes on redox potentials, nitrification and bacterial numbers in the sediment.* In: A. Brogert and T. Tiren (Eds), 9th Nordic Symposium on Sediments, pp. 72-88.

Hejzlar J., B. Kronvang, S. Anthony, B. Arheimer, H. Behrendt, F. Bouraoui, B. Grizzetti, P. Groenendijk, M. Jeuken, H. Johnsson, A. Lo Porto, Y. Panagopoulos, C. Siderius, M. Silgram, M. Venohr, J. Žaloudík, 2009. *Nitrogen and phosphorus retention in surface waters: An inter-comparison of predictions by catchment models of different complexity*" Journal of Environmental Monitoring 11(3): pp. 584-593.

Klein, J.J.M. de, 2008. *From Ditch to Delta, Nutrient retention in running waters.* PhD-thesis Wageningen University, Wageningen. ISBN: 978-90-8504-930-2.

Kolk, J.W.H. van der & J. Drent, 1996. *NUSWA - a mathematical model to predict the fate of nutrients in surface water systems.* Internal Report 402, DLO-Winand Staring Centre, Wageningen.

Kronvang, B., J. Hezlar, P. Boers, J.P. Jensen, H. Behrendt, T. Anderson, B. Arheimer, M. Venohr & C.C. Hoffmann, 2004. *Nutrient Retention Handbook. Software Manual for EUROHARP NUTRET and Scientific review on nutrient retention*., 103 pp. Oslo, Norway: NIVA.

Kroon, T., P.A. Finke, I. Peereboom & A.H.W. Beusen, 2001. Redesign STONE. *De nieuwe schematisatie voor STONE: de ruimtelijke indeling en de toekenning van hydrologische en bodemchemische parameters.* RIZA rapport 2001.017. RIZA, Lelystad.

Macrae, M.L., M.C. English , S.L. Schiff & M.A. Stone, 2003. *Phosphate retention in an agricultural stream using experimental additions of phosphate.* Hydrological Processes, vol. 17, pp. 3649-3663.

Mulder, H.M. & E.P. Querner, 2008. *Waterberging op het landgoed Lankheet: Mogelijkheden en consequenties voor het watersysteem.* Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1674.

Querner, E.P. & P.J.T. van Bakel, 1989. *Description of regional groundwater flow model SIMGRO.* Wageningen, DLO Winand Staring Centre. Report 7.

Reddy, K.R., R.H. Kadlec, E. Flaig & P.M. Gale, 1999. *Phosphorus retention in streams and wetlands: A review.* Critical Reviews in Environmental Science and Technology, vol. 29, pp. 83-146.

Rijtema, P.E., P. Groenendijk & J.G. Kroes, 1999. *Environmental impact of land use in rural regions. The development, validation and application of model tools for management and policy analysis.* Imperial College Press, London

Roelsma, J., T.P. van Tol-Leenders, F.J.E. van der Bolt, R.J. Löschner-Wolleswinkel, L.V. Renaud, J.D. Schaap, O.F. Schoumans, C. Siderius, H. van der Heide & K. van der Molen, 2008. *Systeemanalyse voor het stroomgebied van de Drentse Aa Fase 3.* Wageningen, Alterra-rapport 1764.

Schoumans, O.F., C. Siderius & P. Groenendijk, 2008. *NL-CAT aplication to six European catchments.* Report 1205, Alterra, Wageningen.

Siderius, C., P. Groenendijk, L.P.A. van Gerven, M.H.J.L. Jeuken & A.A.M.F.R Smit, 2008. *Process description of NUSWALITE; a simplified model for the fate of nutrients in surface waters.* Alterra Report 1226.2

Siderius, M., Silgram, M. Venohr & J. Žaloudík, 2009. *Nitrogen and phosphorus retention in surface waters: an inter-comparison of predictions by catchment models of different complexity.* J. Environ. Monit., DOI: 10.1039/b901207a.

Vries, F. de & J. Denneboom, 1992. *De bodemkaart van Nederland digitaal. Technisch document 1*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Walsum, P.E.V. van, A.A. Veldhuizen, P.J.T. van Bakel, F.J.E. van der Bolt, P.E. Dik, P. Groenendijk, E.P. Querner, 2004. *SIMGRO 5.0; Description of theory and model implementation*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 913.1.

Wolf J., A.H.W. Beusen, P. Groenendijk, T. Kroon, R. Rotter & H. van Zeijts, 2003. *The integrated modeling system STONE for calculating nutrient emissions from agriculture in the Netherlands*. Environmental Modelling & Software, vol. 18, pp. 597-617.

Wösten, J.H.M., G.J., 2001. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*. Alterra, Wageningen.

Bijlage 1 Waterkwaliteitsprocessen in het oppervlaktewater

In deze bijlage worden in het kort de processen besproken waarvan de parameters gevarieerd zullen worden in de studie naar de zuiverende werking van de Buurserbeek. Een uitgebreidere procesbeschrijving is te vinden in Siderius et al. (2008).

Mineralisatie: Omzetting van organisch N en P naar mineraal N en P, wordt in NUSWALITE gemodelleerd als een 1ste orde proces:

$$\frac{dV_w c_{\text{mineraal}}}{dt} = k_{mi}(1+\beta_{mi})^{T-20} V_w c_{\text{organisch}} \qquad (1.1)$$

Waarin:

Term	Omschrijving	Eenheid
k_{mi}	mineralisatiesnelheid	d^{-1}
$c_{organisch}$	concentratie organisch N/P in water	g/m^3
$c_{mineraal}$	concentratie mineraal N/P in water	g/m^3
β_{mi}	temperatuurscoëfficiënt mineralisatie	(-)
V_w	watervolume	m^3
T	watertemperatuur	°C

In werkelijkheid vindt mineralisatie plaats in 2 stappen: van particulair organisch N en P (afvalproduct stervende biomassa) naar opgelost organisch N en P en vervolgens naar ammonium/fosfaat (Van der Kolk et al., 1996). NUSWALITE heeft geen particulaire N en P poel en veronderstelt dus dat sterfte van biomassa gelijk bijdraagt aan de opgeloste organische fractie. Tevens worden ammonium en nitraat samengevoegd in een minerale poel binnen NUSWALITE. Hierdoor ontstaat als gevolg van mineralisatie gelijk nitraat terwijl dit in werkelijkheid ontstaat als gevolg van nitrificatie van ammonium met behulp van zuurstof.

Daarnaast is mineralisatie in werkelijkheid o.a. afhankelijk van de watertemperatuur, de zuurgraad en het zuurstofgehalte in het water in combinatie met zuurstofvraag van bijvoorbeeld organisch materiaal. In NUSWALITE is dit proces gesimplificeerd tot enkel een temperatuursafhankelijk proces. De bovengenoemde simplificaties maken het moeilijker de mineralisatie snelheid in te schatten.

Tabel B1.1 Inschatting waarden voor mineralisatie parameters.

Parameter	Symbool	Eenheid	Deze studie
mineralisatiesnelheid	k_{mi}	d^{-1}	0.15
temperatuurscoëfficiënt mineralisatie	β_{mi}	(-)	0.04

- ***Sorptie***

Hechting van mineraal N en P aan het sediment (adsorptie), bijvoorbeeld aan aluminium- en ijzerdeeltjes in het sediment. Tevens kan er desorptie plaatsvinden door diffusie of resuspensie waarbij geadsorbeerd mineraal N en P weer in opgeloste vorm in de waterfase terecht komt. Sorptie is een proces dat met name invloed heeft op mineraal P; op mineraal N is de invloed veel kleiner. Er stelt zich een evenwicht in tussen ad- en desorptie dat in NUSWALITE gelineariseerd is, een benadering van de

beschrijving van sorptie volgens de Langmuir isotherm voor lage concentraties (Enfield et al., 1981):

$$\left(\frac{dV_w c_{\text{mineraal}}}{dt}\right)_{\text{adsorption}} = k_a \overline{V}_s \rho_s \left(\frac{dc_{\text{mineraal}}}{dt}\right)_{\text{sediment}} \qquad (1.2)$$

Waarin:

Term	Omschrijving	Eenheid
V_s	sedimentvolume	m^3
ϱ_s	sedimentdichtheid	g/m^3
k_a	potentiële adsorptiecapaciteit van het sediment	m^3/g

De sorptie van mineraal P wordt in werkelijkheid met name gestuurd door de verhouding Fe^{2+}/Fe^{3+} die afhankelijk is van het zuurstofgehalte wat over het jaar heen varieert. De sorptie van mineraal N (in werkelijkheid alleen ammonium) is van een kleinere orde van grootte dan die van P en wordt constant verondersteld over het jaar heen. De sorptie is tevens afhankelijk van de hoeveelheid sediment ($=\varrho_s V_s$). Het volume van het sediment wordt in NUSWALITE berekend door het bodemoppervlak van het betreffende watercompartiment te vermenigvuldigen met de sedimentdikte (H_{sed}). De sorptiecapaciteit van mineraal P wordt verondersteld geen seizoensvariatie te hebben.

De potentiële adsorptiecapaciteit is afhankelijk van het sedimentsoort. Zo is de potentiële adsorptiecapaciteit van klei is groot, die van zand middelmatig tot groot terwijl mineraal N/P zich moeilijk hecht aan veensediment.

Tabel B1.2 Inschatting waarden voor sorptie parameters.

Parameter	Symbool	Eenheid	Deze studie
Potentiële adsorptiecapaciteit van het sediment voor mineraal P	$k_{a,P}$	m^3/g	0.0007
Potentiële adsorptiecapaciteit van het sediment voor mineraal N	$k_{a,N}$	m^3/g	0.00005
Sedimentdichtheid	ϱ_s	g/m^3	1.600.000
Sedimentdikte *	H	m	0.02

* In de rietvelden is er gekozen voor een sedimentdikte van 0.05 m.

- ***Denitrificatie***

Onder zuurstofarme omstandigheden gebruiken sommige bacteriën nitraat in plaats van zuurstof voor hun respiratie (ademhaling). Hierbij wordt nitraat omgezet in gasvorm (N_2 en soms N_2O) wat ontsnapt naar de atmosfeer (Gumbricht, 1993). Dit proces wordt denitrificatie genoemd en in NUSWALITE gemodelleerd als een 1ste orde proces:

$$\frac{dV_w c_{\text{Nmineraal}}}{dt} = -k_{den}(1+\beta_{den})^{T-20} V_w c_{\text{Nmineraal}} \qquad (1.3)$$

Waarin:

Term	Omschrijving	Eenheid
k_{den}	denitrificatiesnelheid	d^{-1}
$c_{Nmineraal}$	concentratie aan opgelost mineraal-N	g/m^3
β_{den}	temperatuurscoëfficiënt denitrificatie	(-)

Denitrificatie vindt met name plaats in de anaerobe sedimentlaag maar kan ook plaatsvinden in biofilms met denitrificerende bacteriën die vastkleven aan waterplanten. In werkelijkheid is de denitrificatie afhankelijk van o.a. de watertemperatuur, de hoeveelheid afbreekbaar organisch materiaal, de zuurgraad, de hoeveelheid bicarbonaat in het water (hardheid), het type micro-organismen (afhankelijk van het trofieniveau en landschapskenmerken) en het zuurstofgehalte in het water in combinatie met zuurstofvraag van bijvoorbeeld organisch materiaal (Erikson en Weisner, 1999). Onder zuurstofarme omstandigheden is de denitrificatie in het algemeen groter.

In NUSWALITE is de denitrificatie gesimplificeerd tot enkel een temperatuursafhankelijk proces. Tevens zijn in NUSWALITE de fracties mineraal ammonium en mineraal nitraat samengevoegd tot mineraal N, terwijl in werkelijkheid alleen (mineraal) nitraat denitrificeert.

Tabel B1.3 Inschatting waarden voor denitrificatie parameters.

Parameter	Symbool	Eenheid	Deze studie
Denitrificatiesnelheid	k_{den}	d^{-1}	0.05
Temperatuurscoëfficiënt denitrificatie	β_{den}	(-)	0.045

- ***Sedimentatie***

Verwijdering van mineraal P door irreversibele sedimentatie (Brenner et al., 2006) alsmede de verwijdering van organisch N en P uit het watersysteem als gevolg van irreversibele depositie van afgestorven biomassa, wordt in NUSWALITE gemodelleerd als een 1ste orde proces:

$$\frac{dV_w c_{\text{Pmineraal}}}{dt} = -k_{sed} V_w c_{\text{Pmineraal}} \qquad (1.4)$$

en

$$\frac{dV_w c_{\text{organisch}}}{dt} = -k_{sed} V_w c_{\text{organisch}} \qquad (1.5)$$

Waarin:

Term	Omschrijving	Eenheid
k_{sed}	sedimentatiesnelheid = w_s / h	d^{-1}
w_s	bezinkingssnelheid	m/d
H	waterdiepte	m
$c_{Pmineraal}$	concentratie aan opgelost mineraal-P	g/m^3

In werkelijkheid zal organisch N en P niet sedimenteren maar sedimenteert particulair N en P. Wanneer biomassa afsterft ontstaat particulair N en P dat vervolgens omgezet wordt naar opgelost organisch N en P. In NUSWALITE bestaat echter geen particulaire poel en komt gestorven biomassa direct als opgelost organisch materiaal in het systeem. Ter compensatie sedimenteert een deel van het organische N en P in het water in NUSWALITE.
Voor P is sedimentatie het belangrijkste verwijderproces. Buiten de sedimentatie van particulair P kunnen ook minerale P-deeltjes sedimenteren doordat ze zich kunnen binden aan zwevende deeltjes in het water en vervolgens kunnen bezinken. Een deel van het gesedimenteerde P kan weer in oplossing komen door bioturbatie, hoge stroomsnelheden of windinvloed. Gesedimenteerd P kan ook begraven worden in het sediment wat als verwijdering wordt beschouwd (Brenner et al., 2006).

De bezinkingssnelheid is sterk afhankelijk van de stroomsnelheid. Bezinking zal eerder optreden in stilstaand en langzaamstromend water dan in snelstromende systemen. In dwarsprofielen met veel vegetatie nabij de oevers zal met name in die delen bezinking optreden.
Informatie over de stroomsnelheden en de hoeveelheid particulaire en zwevende nutriënten moet verwerkt worden in de waarde van de bezinkingssnelheid die aan NUSWALITE opgegeven wordt.

Tabel B1.4 Inschatting waarden voor sedimentatie parameters.

Parameter	Symbool	Eenheid	Deze studie
Bezinkingssnelheid mineraal P	$w_{s,min}$	m/d	0.15
Bezinkingssnelheid organisch N en P	$w_{s,org}$	m/d	0.05

Bijlage 2 Modelbeschrijving van de rietproductie

In deze bijlage wordt in het kort weergegeven hoe de rietproductie in NUSWALITE gemodelleerd is en welke parameters met betrekking tot de rietgroei gevarieerd worden in deze studie. Een uitgebreide beschrijving inclusief de gebruikte parameter-instellingen is te vinden in Siderius et al. (2008).

De groei van riet (in gram per dag) wordt in NUSWALITE berekend met de volgende formule:

$$V_w \frac{F_T (1-a) P_{st}^* f_{licht}}{H} f_{nut} \qquad (2.1)$$

Waarin:

Term	Omschrijving	Eenheid
V_w	watervolume	m^3
F_T	temperatuurafhankelijkheid van rietgroei	(-)
A	respiratiefactor voor riet	(-)
P_{st}	standaardproductie (Rijtema et al., 1999)	g m^{-2} d^{-1}
f_{licht}	invloed van licht op rietgroei	(-)
f_{nut}	invloed van nutrientenbeschikbaarheid op rietgroei	(-)
H	waterdiepte	m

Uitgangspunt voor de rietgroei is de standaardproductie die afhankelijk is van lichtcondities gekoppeld aan de breedtegraad. Een voorbeeld van het verloop van de standaardproductie over het jaar heen voor Nederlandse condities is gegeven in figuur 1.1. De reductiecoëfficiënten (f_{licht} , f_{nut} en F_T) kunnen een waarde aannemen tussen nul en één afhankelijk van de beschikbaarheid van respectievelijk licht en nutriënten en de watertemperatuur, waardoor de standaardproductie mogelijk verlaagd wordt. Bij een watertemperatuur hoger dan 20ºC kan de factor F_T een waarde groter dan 1 aannemen. Een deel van de groeienergie gaat verloren door respiratie van de rietplant. De uiteindelijke rietproductie wordt bepaald door het samenspel van groei en sterfte. De sterfte van riet (in gram per dag) is als volgt gemodelleerd:

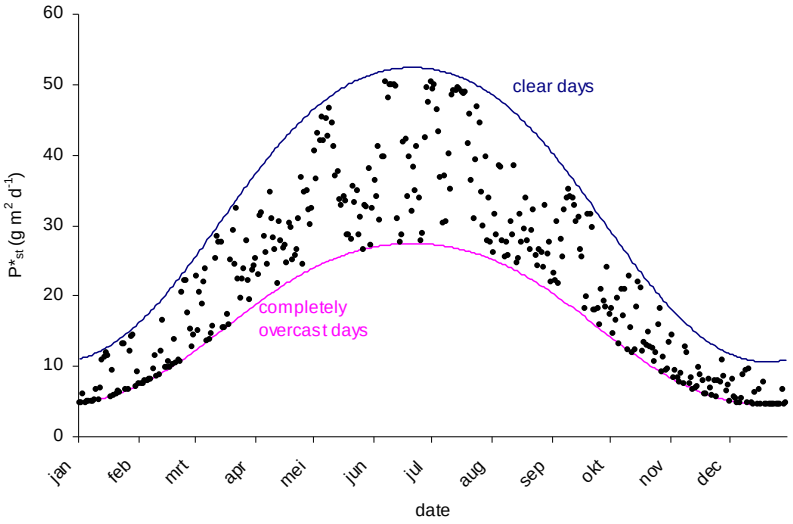
$$k_{mor} (1+\beta_{mor})^{T-20} V_w [L] \qquad (2.2)$$

Waarin:

Term	Omschrijving	Eenheid
k_{mor}	sterftesnelheid	d^{-1}
β_{mor}	temperatuurcoëfficiënt voor sterfte	(-)
T	watertemperatuur	ºC
L	hoeveelheid riet per eenheid watervolume	g/m^3

Onder perfecte omstandigheden qua licht, temperatuur en nutriënten kan in de zomer een groeisnelheid van 25 gram riet/m^2 gehaald worden. Uiteindelijk, een aantal jaar na zaaiing van het riet, kan de rietproductie in het model oplopen tot

maximaal 3000 gram/m^2 onder Nederlandse condities. Dit betreft de productie van de hele plant. Uitgaande van een verdeling van biomassa over de scheut en wortel van 75% tot 25% komt dit neer op een maximale scheutproductie van 2250 gram/m^2.



Figuur B2.1: Voorbeeld van de standaardproductie (g/m2/dag) over het jaar heen.

Hieronder volgt een overzicht van de parameters met betrekking tot de rietgroei die gevarieerd worden in deze studie.

Lichtinterceptie coëfficiënt
De waarde van deze coëfficiënt beïnvloedt de waarde van de lichtreductie factor op de rietgroei (f_{licht}):

$$f_{licht} = (1 - e^{-\alpha_{int}[L]H}) \tag{2.3}$$

Waarin:

Term	Omschrijving	Eenheid
L	hoeveelheid riet per eenheid watervolume	g/m^3
H	waterdiepte	m
α_{int}	lichtinterceptie coëfficiënt	m^2/g

Zoals we zien aan de formule is de lichtreductie factor afhankelijk van de rietbiomassa. De sterkte van deze afhankelijkheid wordt bepaald door de waarde van de lichtinterceptie coëfficiënt. Hiermee wordt de groei van riet, wat in principe een nulde orde proces is, een pseudo eerste orde proces. De redenatie hierachter is als volgt: Hoe groter de rietdichtheid des te meer van het beschikbare licht gebruikt kan worden voor de groei. Bij grote rietbegroeiing zal licht dus geen beperkende factor zijn voor de groei. Daarom heeft de lichtinterceptie coëfficiënt met name invloed op de groeisnelheid bij kleine rietdichtheden. De uitgangswaarde (0.03) komt overeen met groei van 100% per dag bij kleine dichtheden (bijvoorbeeld vlak na maaien).

Minimum- (0.01) en maximumwaarde (0.1) komen overeen met respectievelijk 35% en 350% groei per dag bij kleine riet dichtheden.

Monod-coëfficiënten
De reductiefactor op de groei als gevolg van beperkte beschikbaarheid van nutriënten (f_{nut}) is als volgt gedefinieerd in NUSWALITE:

$$f_{\text{nut}} = \min\left(\left(\frac{c_{mN}}{c_{mN} + c_{N\,monod}} \right), \left(\frac{c_{mP}}{c_{mP} + c_{P\,monod}} \right) \right) \tag{2.4}$$

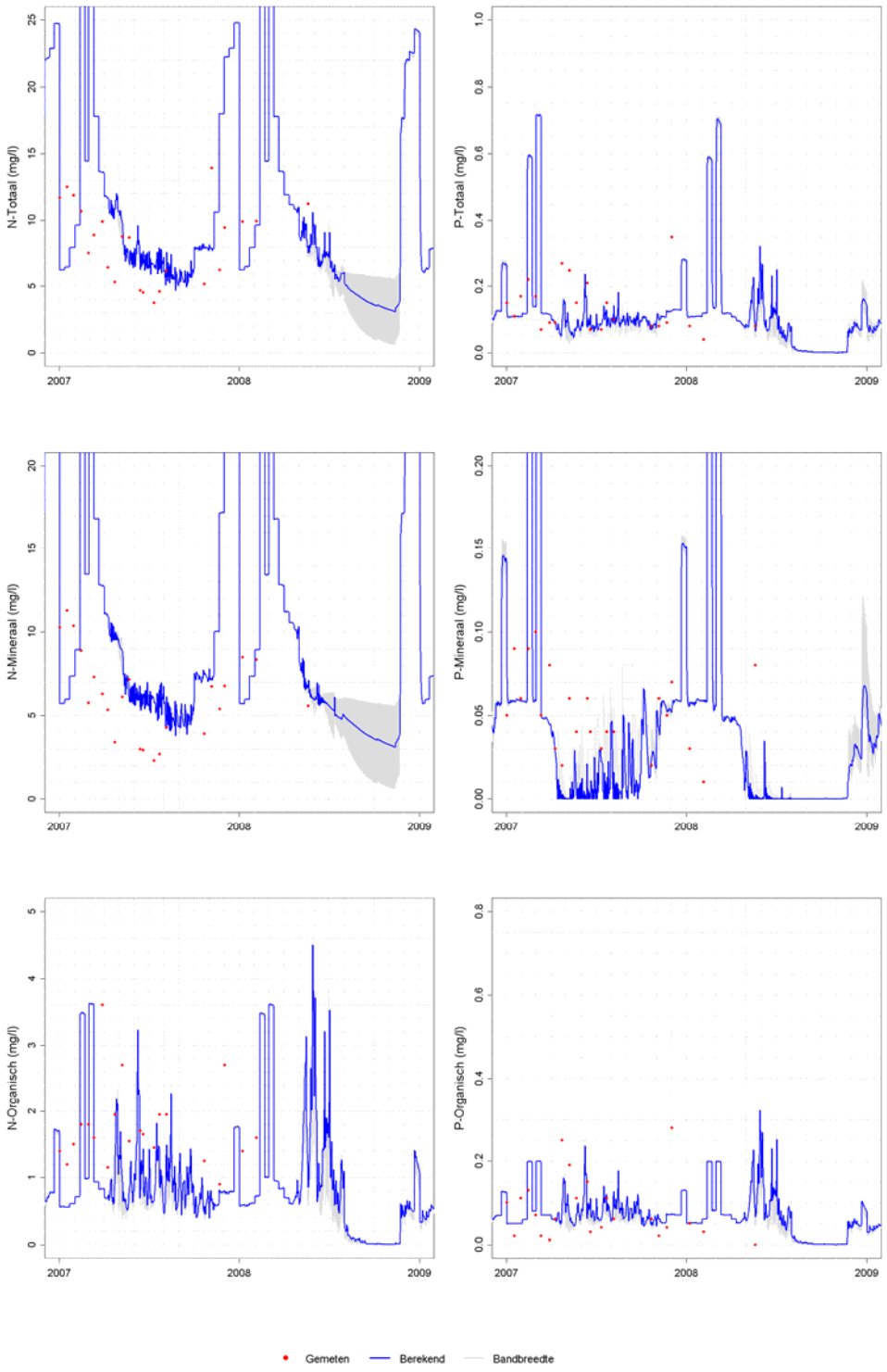
Waarin:

Term	Omschrijving	Eenheid
c_{mN}	concentratie opgelost mineraal N in het water	g/m^3
c_{mP}	concentratie opgelost mineraal P in het water	g/m^3
c_{Nmonod}	Monod-coëfficiënt voor mineraal N	g/m^3
c_{Pmonod}	Monod-coëfficiënt voor mineraal P	g/m^3

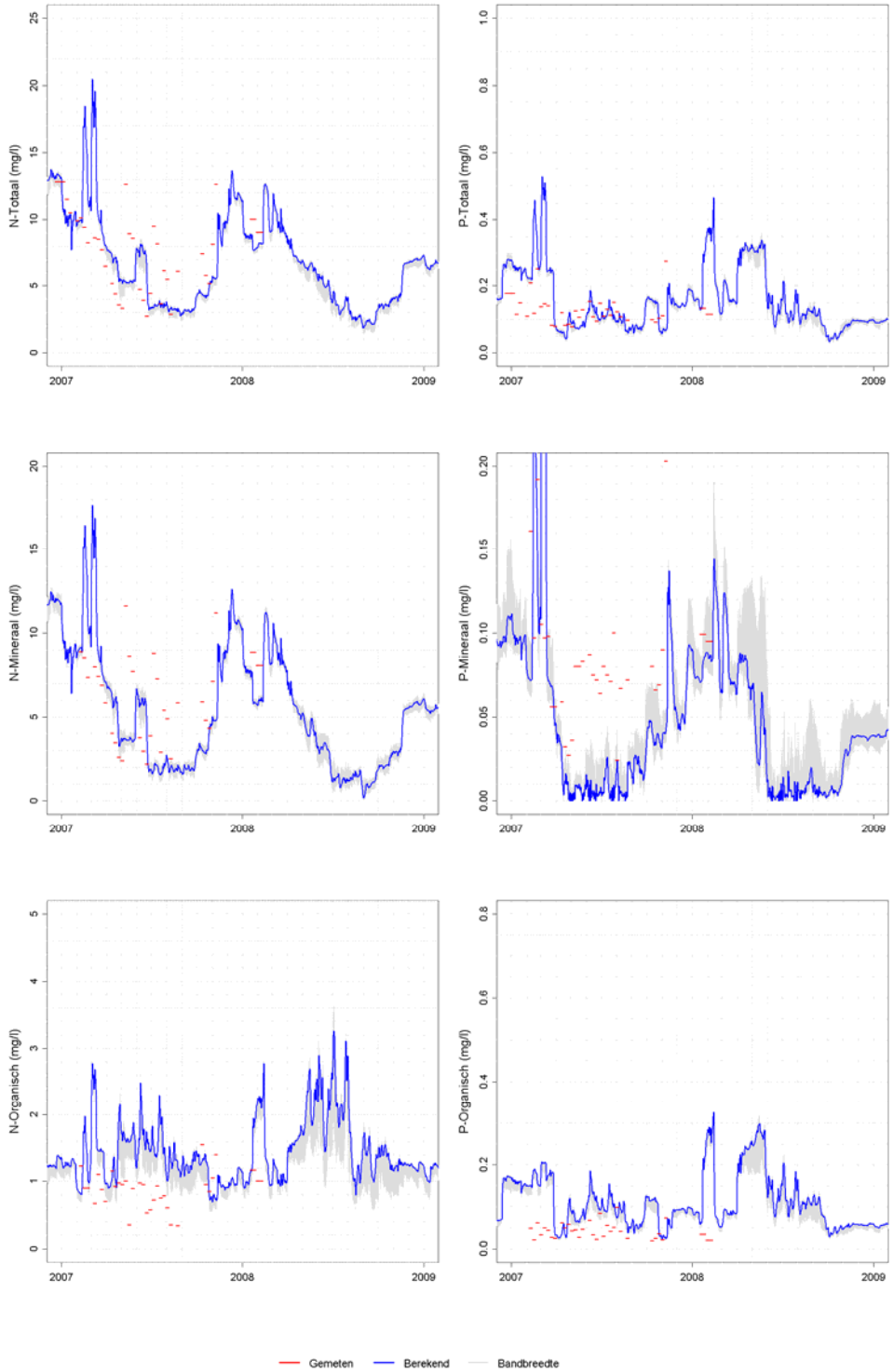
De Monod-coëfficiënt geeft de concentratie aan minerale nutriënten weer waarbij de groeireductie ten gevolge van nutriëntenlimitering 50% is. Bij alsmaar hoger wordende nutriëntenconcentraties zal de groeireductie de 0% naderen, wat resulteert in een waarde voor f_{nut} van bijna één. Er wordt onderscheid gemaakt tussen een groeireductie als gevolg van te weinig opgelost mineraal N in het water en als gevolg van te weinig mineraal P. Beide parameterwaarden zijn niet goed bekend voor riet. Hun waarde zal naar verwachting in liggen tussen de waarden voor kroos (wat met name voorkomt in nutriëntrijke systemen) en wortelende waterplanten (die in relatief nutriëntarm water goed kunnen gedijen). De gekozen minimum- en maximumwaarden voor riet zijn in dezelfde orde als die van respectievelijk wortelende waterplanten en kroos. De Monod-coëfficiënten voor N en P worden paarsgewijs gevarieerd.

Gehalte N en P in droge rietbiomassa
Dit gehalte geeft het percentage N en P weer wat droge rietbiomassa bevat en wat dus opgenomen is uit het water. Deze gehaltes zijn belangrijk omdat ze bepalen hoeveel nutriënten er uit het systeem verwijderd worden door het maaien van riet. De uitgangswaarden komen overeen met de gemiddelde gevonden ratio die gemeten is op het landgoed Het Lankheet. Door het jaar heen kan deze ratio echter variëren. In de winter worden nutriënten naar het wortelstelsel verplaatst en neemt het gehalte N en P in de rietscheut af. In de zomer bevinden zich relatief meer nutriënten in scheut. Verschil tussen het gehalte N en P in de droge scheut in de zomer en winter is volgens literatuur ongeveer 40%. Hier zijn de minimum- en maximumwaarde in deze analyse op gebaseerd, aangezien het model geen rekening houdt met dit nutriëntentransport tussen wortel en scheut. De parameters voor N en P worden paarsgewijs gevarieerd.

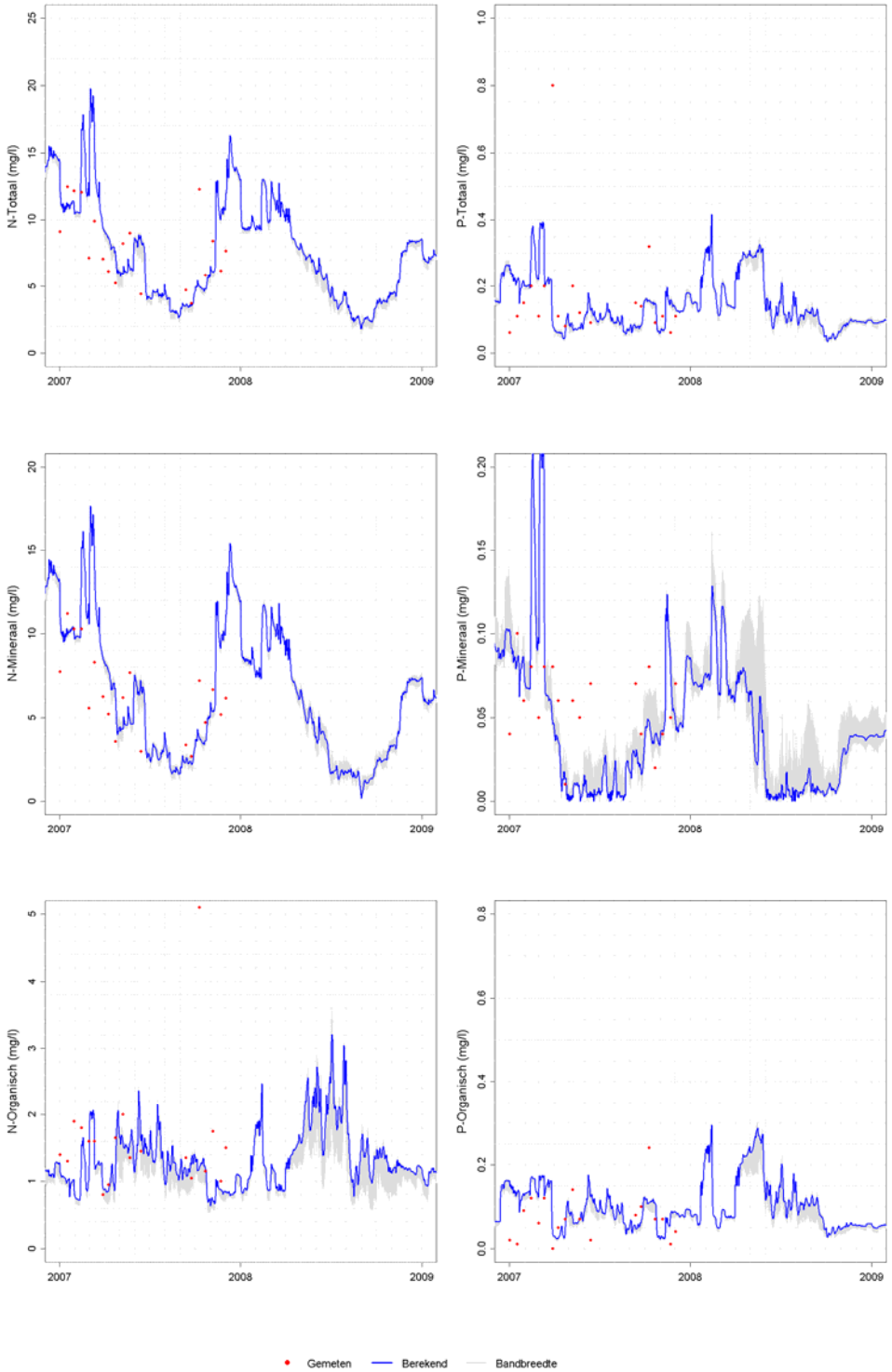
Bijlage 3 Berekende en gemeten nutriëntenconcentraties in de Buurserbeek



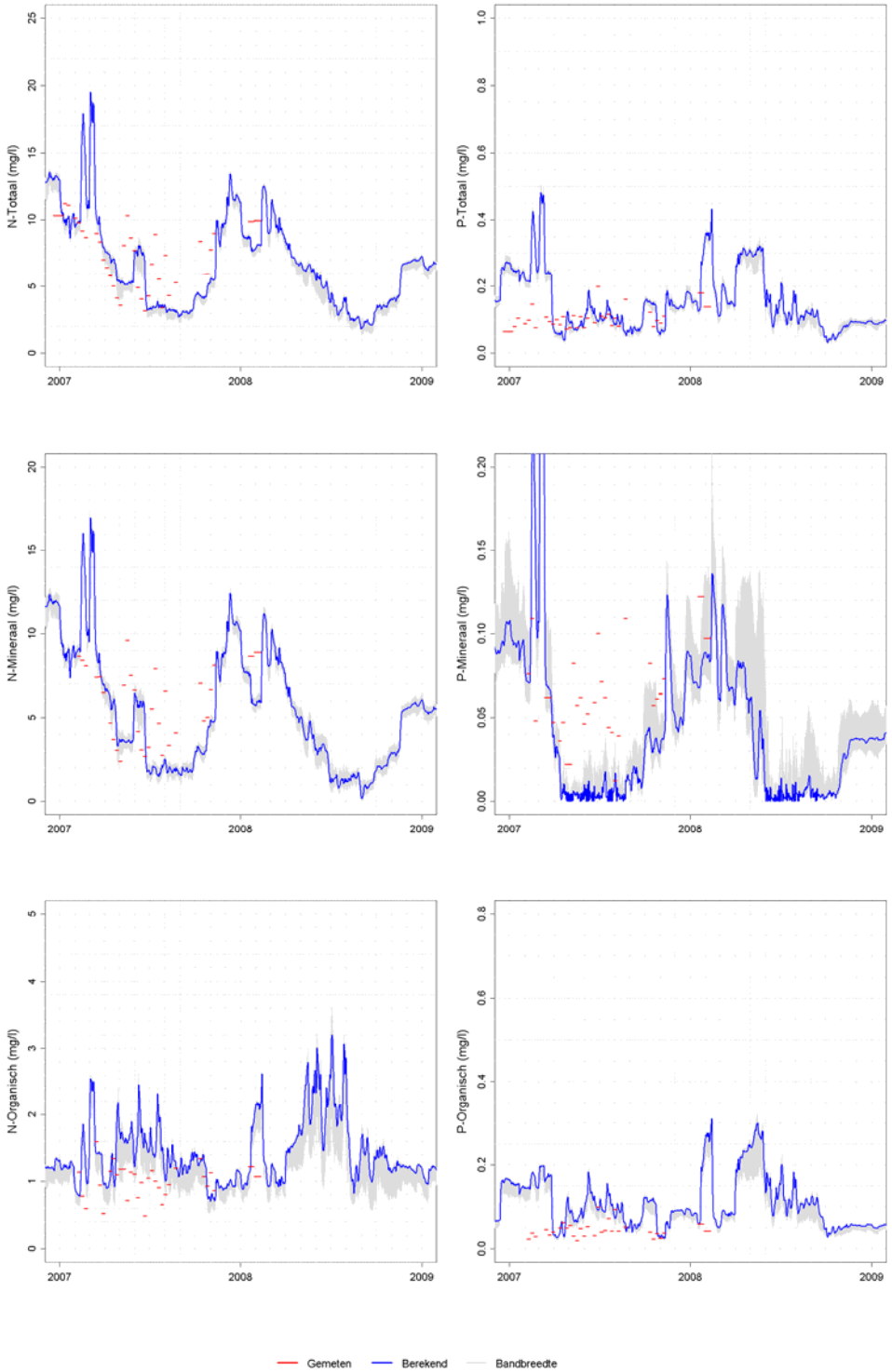
Figuur B3.1 Vergelijking gemeten en berekende nutriëntenconcentraties ter plaatse van het landgoed (inlaat landbouw, voor locatie zie Figuur 3.1).



Figuur B3.2 Vergelijking gemeten en berekende nutriëntenconcentraties ter plaatse aanloop rietvelden (Oliemolenweg, voor locatie zie Figuur 3.1).



Figuur B3.3 Vergelijking gemeten en berekende nutriëntenconcentraties ter plaatse inlaat noordelijke rietvelden (RVNin, voor locatie zie Figuur 3.1).



Figuur B3.4 Vergelijking gemeten en berekende nutriëntenconcentraties ter plaatse inlaat zuidelijke rietvelden (RV1-3, voor locatie zie Figuur 3.1).

Bijlage 4 N en P balans voor het winterhalfjaar in de Buurserbeek

Tabel B4.1 N balans voor het winterhalfjaar in de Buurserbeek vanaf 2002 tot 2009.

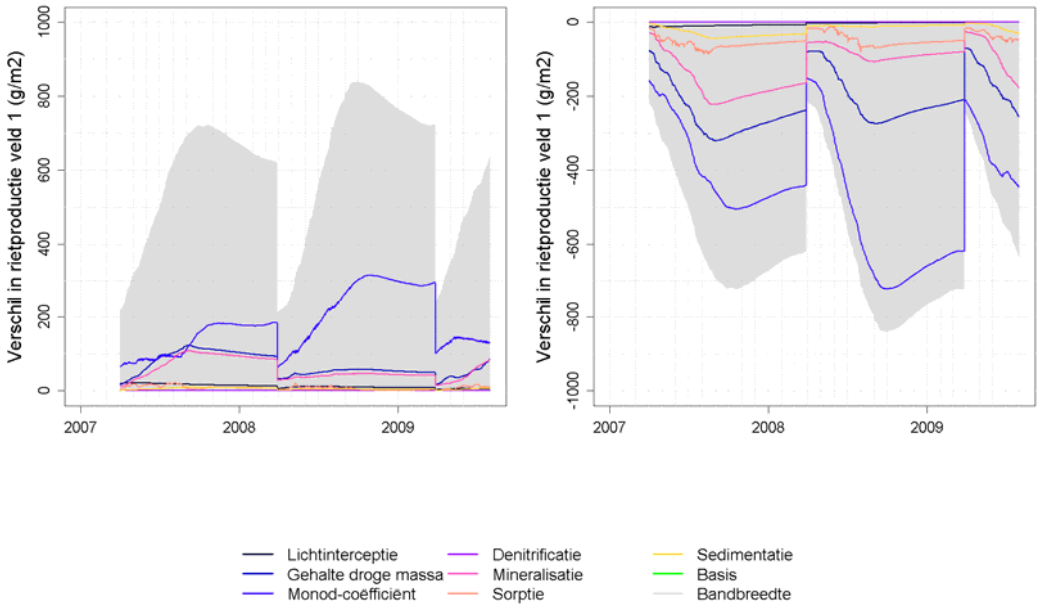
Jaar	N balans (10^3 kg)					N balans (% van aanvoer)			
	Aan-voer	Δ Opslag	Verwij-dering	Maai-beheer	Afvoer	Δ Opslag	Verwij-dering	Maai-beheer	Afvoer
2002	439.9	0.0	2.5	0.0	437.4	0.0	0.6	0.0	99.4
2003	230.3	0.2	1.9	0.0	228.2	0.1	0.8	0.0	99.1
2004	289.1	0.5	2.4	0.0	286.2	0.2	0.8	0.0	99.0
2005	269.5	0.5	2.3	0.0	266.7	0.2	0.9	0.0	98.9
2006	449.1	0.4	3.0	0.0	445.7	0.1	0.7	0.0	99.2
2007	380.2	0.3	2.4	0.0	377.5	0.1	0.6	0.0	99.3
2008	140.6	0.4	1.6	0.0	138.6	0.3	1.1	0.0	98.6

Tabel B4.2 P balans voor het winterhalfjaar in de Buurserbeek vanaf 2002 tot 2009.

Jaar	P balans (10^3 kg)					P balans (% van aanvoer)			
	Aan-voer	Δ Opslag	Verwij-dering	Maai-beheer	Afvoer	Δ Opslag	Verwij-dering	Maai-beheer	Afvoer
2002	7.18	-0.01	0.19	0.00	7.00	-0.1	2.7	0.0	97.4
2003	4.31	0.00	0.17	0.00	4.14	-0.1	3.9	0.0	96.2
2004	4.41	0.00	0.13	0.00	4.28	0.1	3.0	0.0	96.9
2005	6.62	0.01	0.21	0.00	6.40	0.2	3.1	0.0	96.7
2006	10.64	0.01	0.23	0.00	10.40	0.1	2.2	0.0	97.7
2007	10.33	0.02	0.19	0.00	10.12	0.2	1.8	0.0	98.0
2008	2.03	0.01	0.09	0.00	1.93	0.6	4.4	0.0	95.0

Bijlage 5 Gevoeligheidsanalyse rietproductie

Bij de min-max analyse wordt gekeken naar het effect van het variëren van een parameterwaarde op de berekende rietproductie en de berekende nutriëntenconcentraties. Het effect op de rietproductie wordt inzichtelijk gemaakt door het verschil in resultaten weer te geven ten opzichte van de resultaten verkregen met minst gunstige en meest gunstige parameterwaarden voor rietproductie. Door de bandbreedte op de achtergrond weer te geven wordt duidelijk of bepaalde combinatie van varianten elkaar versterken of niet. De resultaten worden weergegeven voor rietveld 1.

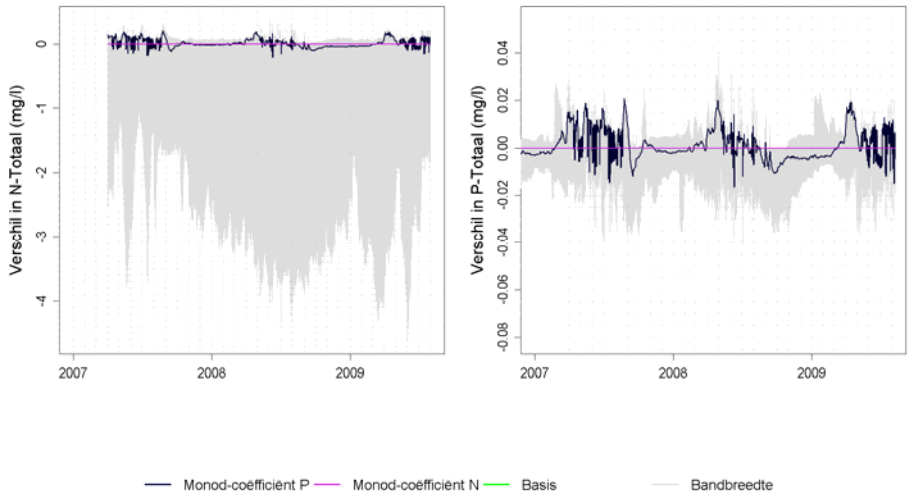


Figuur B5.1 Verschil in rietproductie t.o.v. basisrun met links variatie in parameterwaarden t.o.v. basisrun bij minst gunstige parameterwaarden voor rietproductie en rechts variatie in parameterwaarden t.o.v. basisrun bij meest gunstige parameterwaarden voor rietproductie.

In figuur B5.1 is links het verschil in rietproductie t.o.v. de rietproductie verkregen onder de minst gunstige parameterwaarden weergegeven. Rechts in de figuur is het verschil in rietproductie t.o.v. de meest gunstige parameterwaarden weergegeven. In de figuur is te zien dat de Monod-coëfficiënten de grootste invloed hebben op de rietproductie. De Monod-coëfficiënten bepalen in welke mate de groei beperkt wordt bij lage concentraties in het oppervlaktewater. Hoe groter de waarde van deze coëfficiënt, des te meer de groei gereduceerd wordt bij een bepaalde concentratie aan mineraal N en P in het water. De gevoeligheid van de Monod-coëfficiënten geeft aan dat de concentraties aan mineraal N of mineraal P in het inlaatwater laag zijn omdat ze de rietproductie schijnbaar beperken. In de figuur is te zien dat de effecten van het variëren van de parameterwaarden elkaar kunnen versterken. Zo zal een lagere waarde voor de Monod-coëfficiënt de rietgroei stimuleren, al zeker wanneer er voor de rietgroei minder nutriënten nodig zijn vanwege een verlaagd gehalte N en P in de droge rietbiomassa. De lichtinterceptie coëfficiënt is met name van invloed ten tijde van kleine hoeveelheden riet, wat zich voordoet in het beginjaar en vlak na het maaien in het voorjaar. Een kleinere waarde voor de lichtinterceptie impliceert een

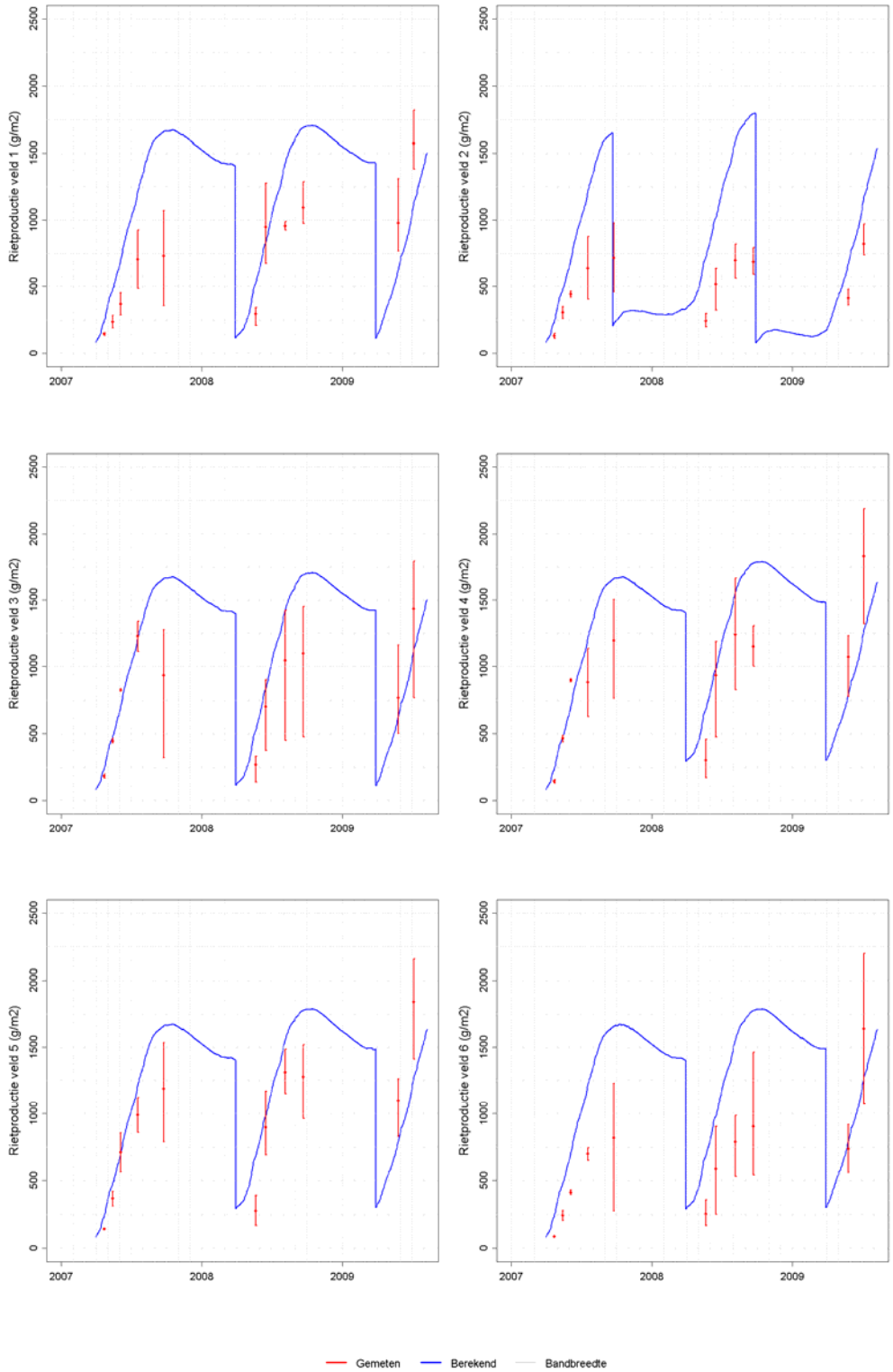
kleinere groei bij lage rietproducties. Het duurt daarna een aantal jaar voordat de in het eerste jaar opgebouwde groeiachterstand "ingehaald" wordt.

Om te achterhalen of N of P mineraal limiterend is voor de groei van riet worden de Monod-coëfficiënten voor N en P afzonderlijk gevarieerd. De resultaten zijn weergegeven in figuur B5.2, waarbij het verschil in nutriëntenconcentraties van N en P totaal t.o.v. een basisrun met minimale parameterwaarden voor de Monod-coëfficiënten wordt vergeleken. In de figuur is te zien dat het variëren van de Monod-coëfficiënten voor N geen effect hebben. Dit komt omdat het inlaatwater van de rietvelden op het landgoed Het Lankheet weinig mineraal P bevat (zie bijlage 7) wat de rietgroei belemmert.



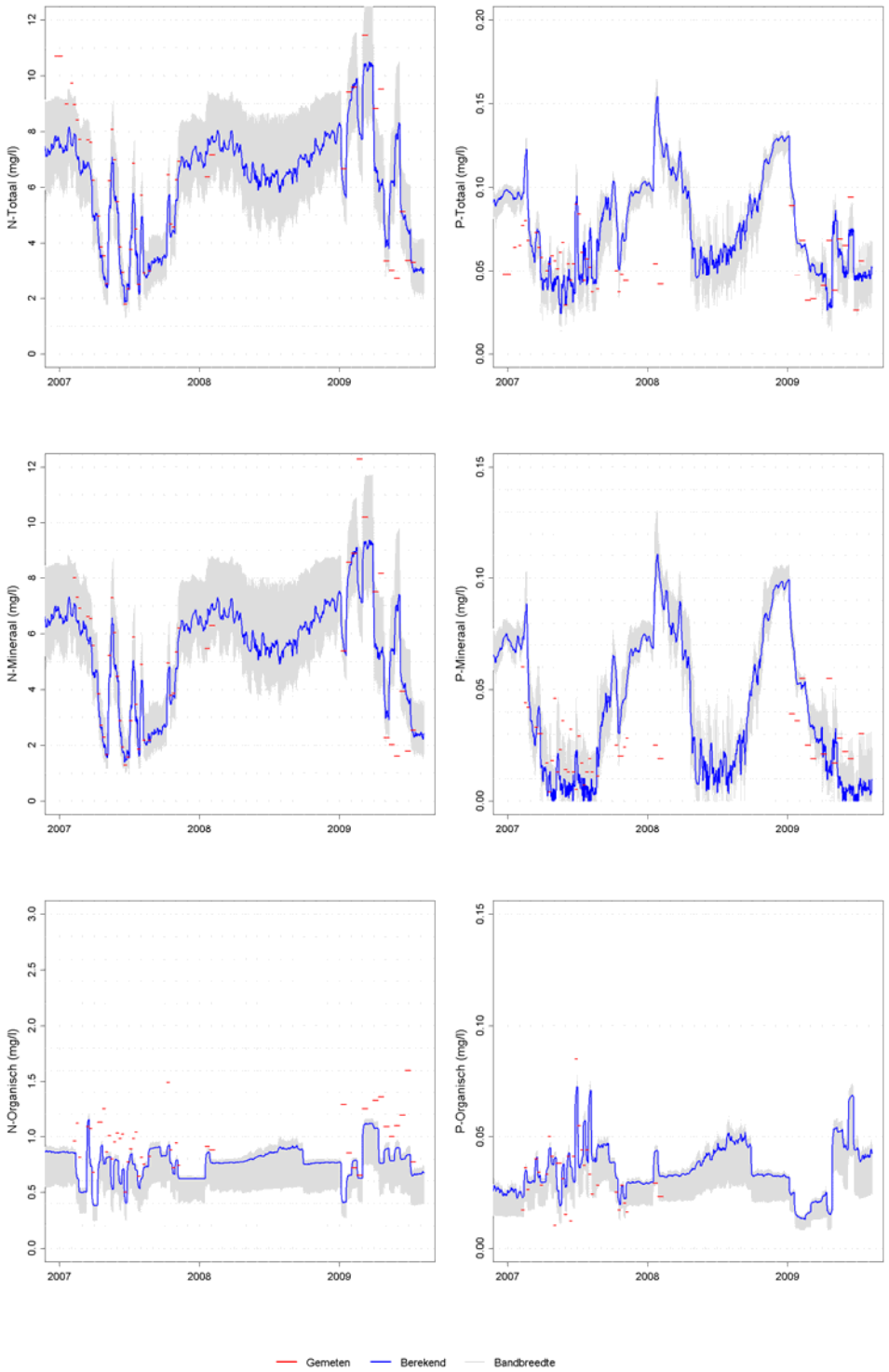
Figuur B5.2 Verschil in nutriëntenconcentraties N totaal en P totaal t.o.v. basisrun bij variatie in parameterwaarden van Monod-coëfficiënt N en P met als basisrun de minimale parameterwaarden.

Bijlage 6 Berekende en gemeten rietproducties

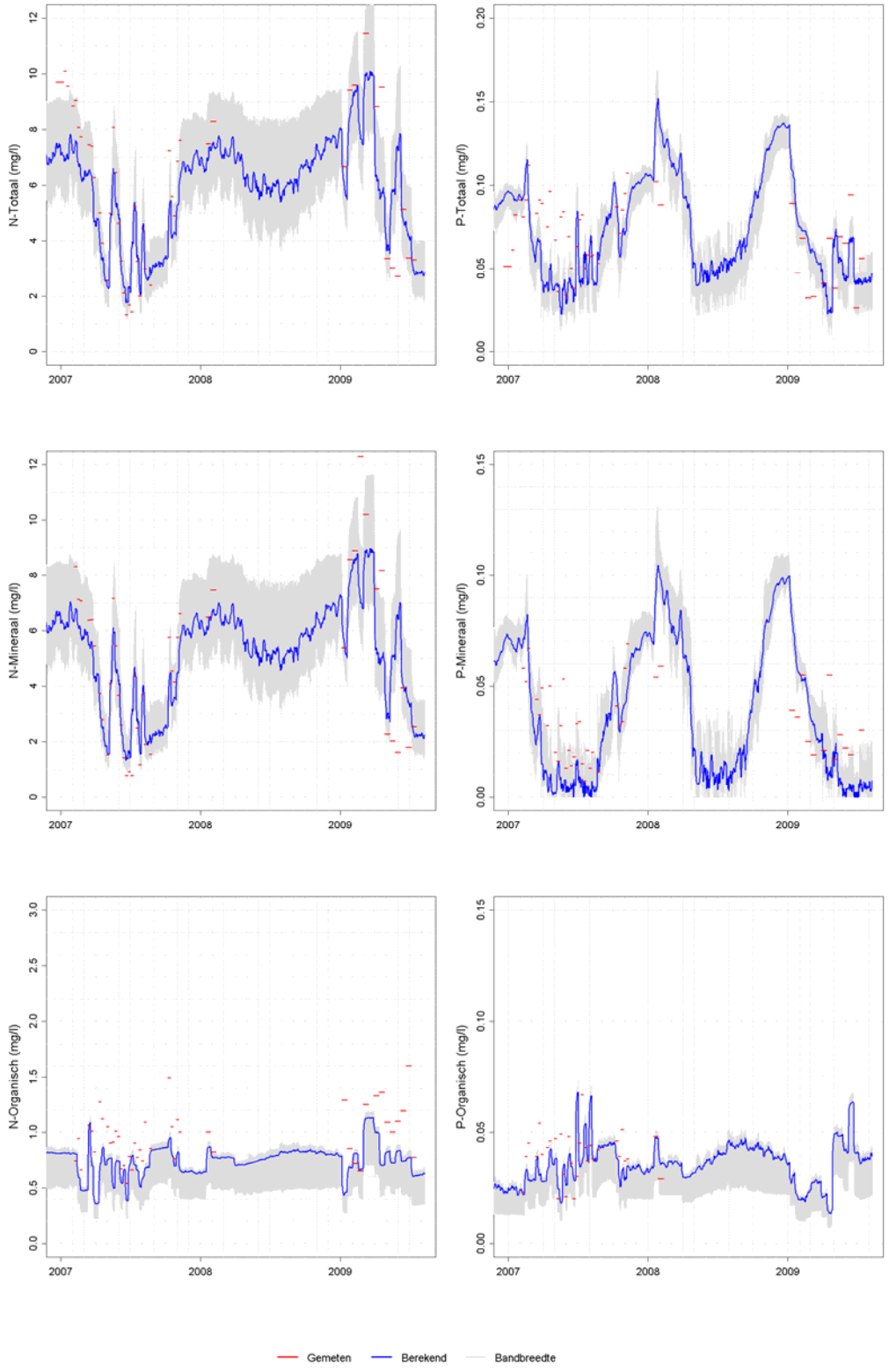


Figuur B6.1 Vergelijking gemeten en berekende rietproductie ter plaatse van de zuidelijke rietvelden in 2007, 2008 en 2009, met ongelimiteerde aanvoer van nutriënten

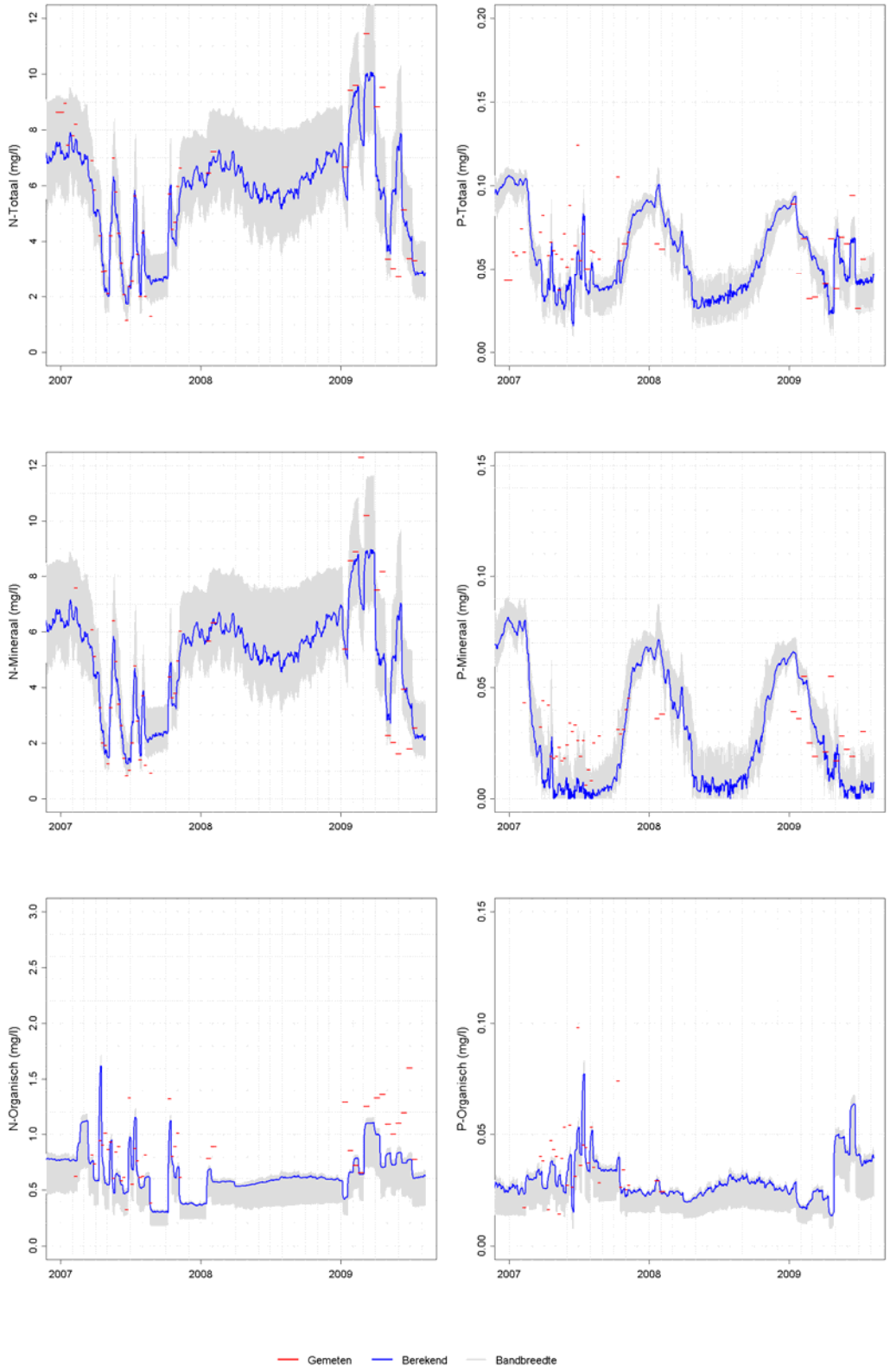
Bijlage 7 Berekende en gemeten nutriëntenconcentraties bij uitlaat rietvelden



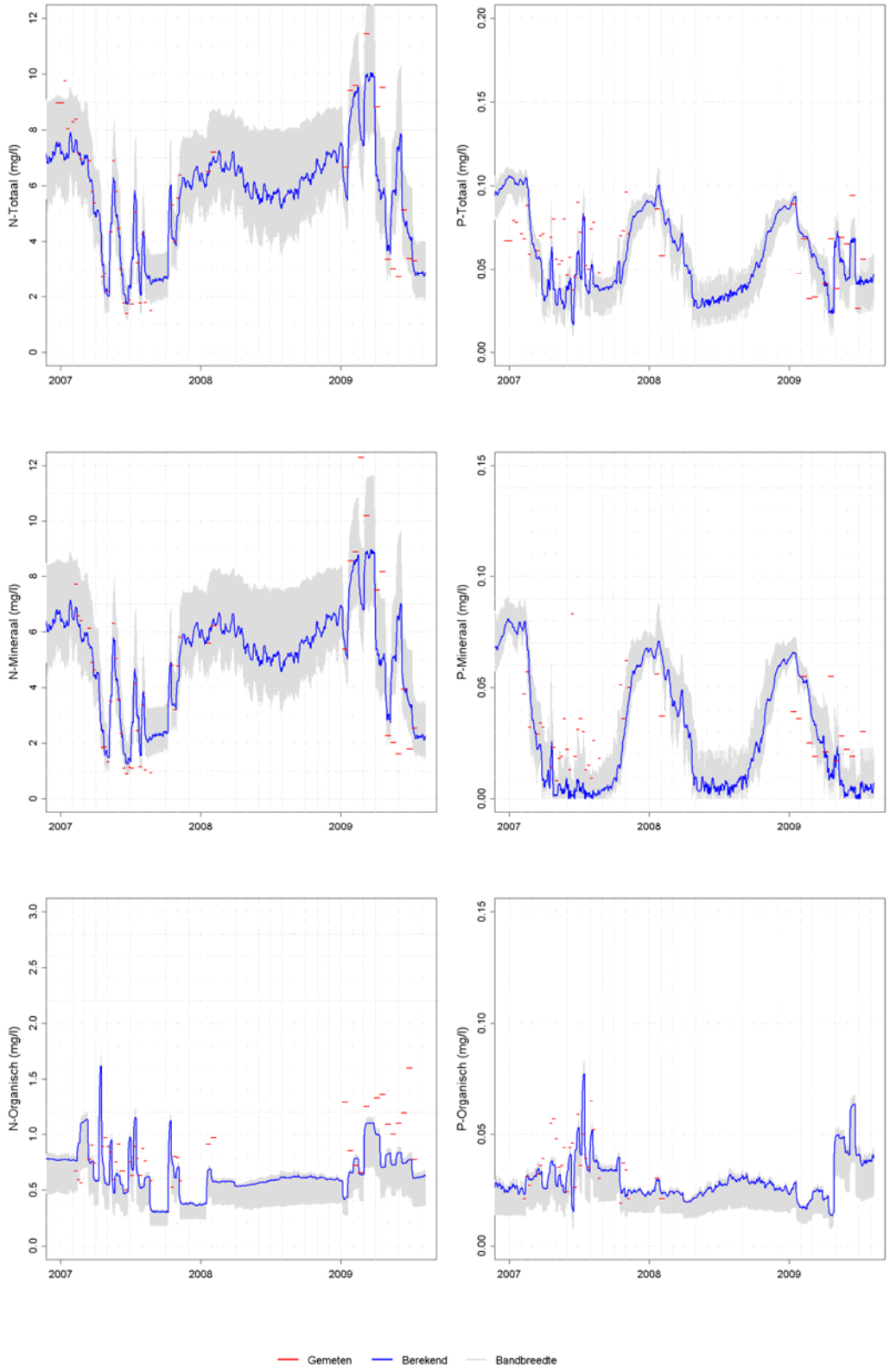
Figuur B7.1 Vergelijking gemeten en berekende nutriëntenconcentraties ter plaatse van uitlaat rietveld 2 (voor locatie zie Figuur 3.1).



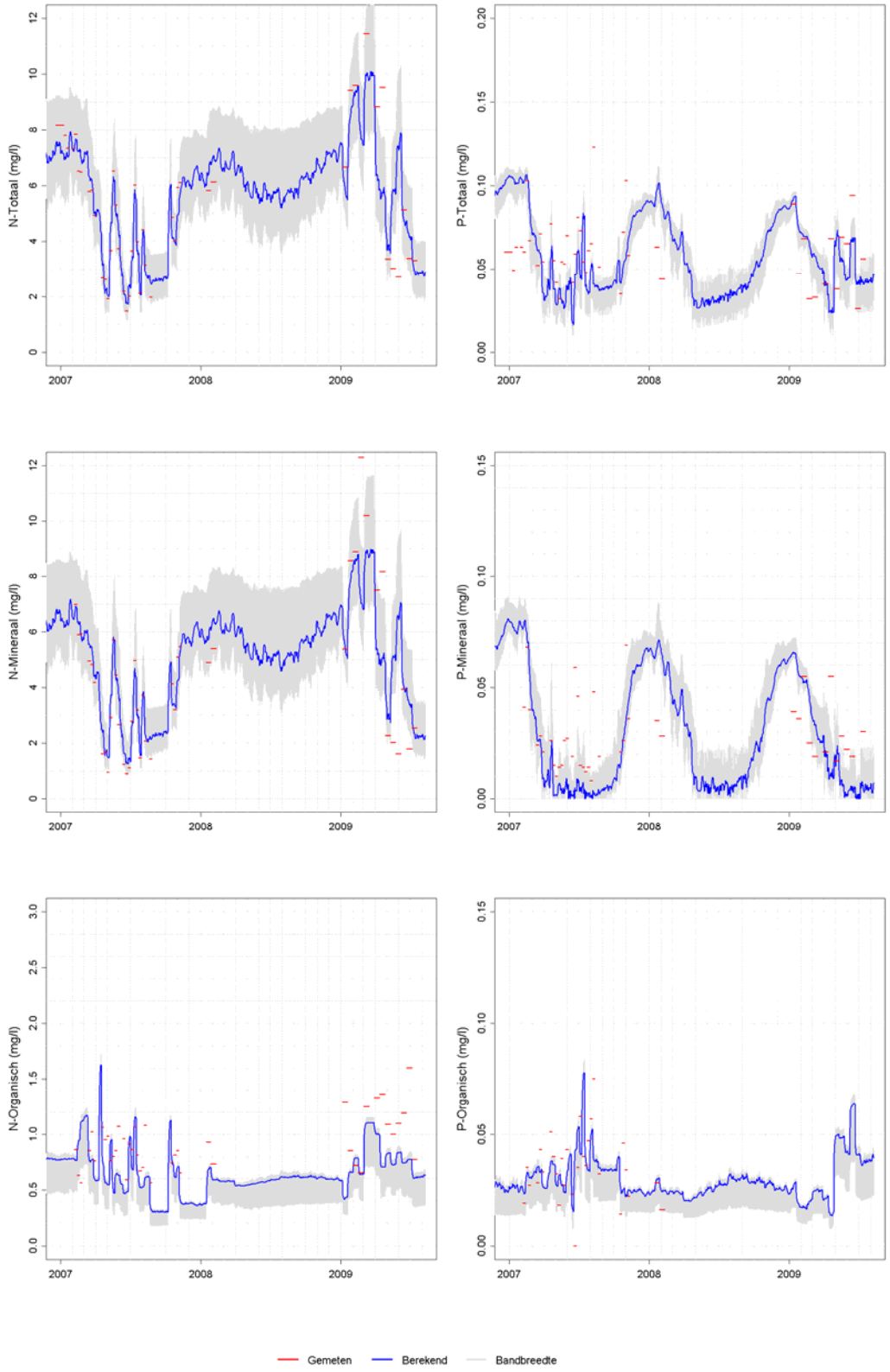
Figuur B7.2 Vergelijking gemeten en berekende nutriëntenconcentraties ter plaatse van uitlaat rietveld 3 (voor locatie zie Figuur 3.1).



Figuur B7.3 Vergelijking gemeten en berekende nutriëntenconcentraties ter plaatse van uitlaat rietveld 4 (voor locatie zie Figuur 3.1).



Figuur B7.4 Vergelijking gemeten en berekende nutriëntenconcentraties ter plaatse van uitlaat rietveld 5 (voor locatie zie Figuur 3.1).



Figuur B7.5 Vergelijking gemeten en berekende nutriëntenconcentraties ter plaatse van uitlaat rietveld 6 (voor locatie zie Figuur 3.1).

Bijlage 8 N en P balans voor het winterhalfjaar in de rietvelden

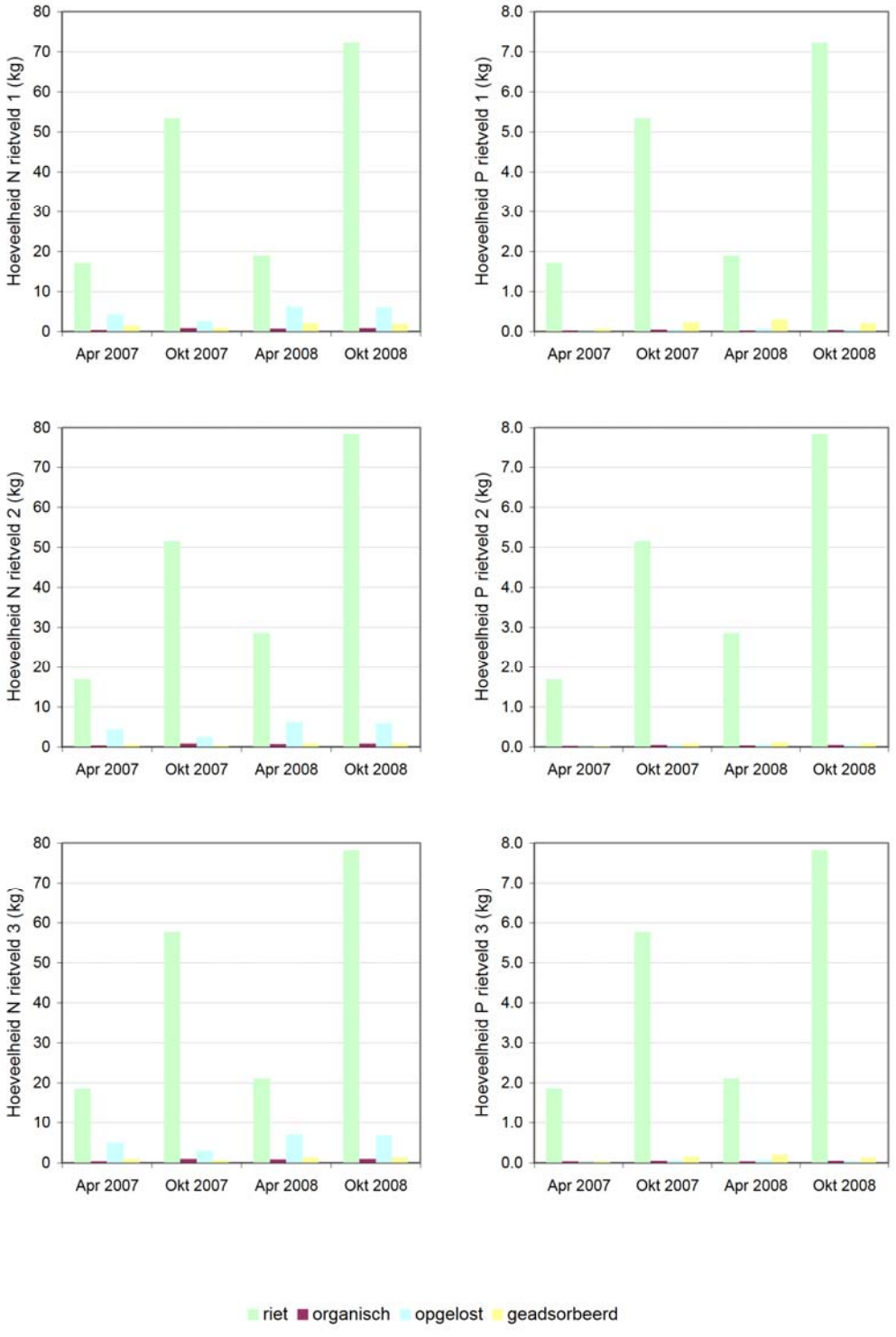
Tabel B8.1 N balans zuidelijke rietvelden voor het winterhalfjaar 2007 en 2008 (Verw.=Verwijdering, inf.=infiltratie).

Jr	Riet-	N balans (kg)							N balans (%)			
	veld	Aanvoer		Δ	Verw.	Maai-	Afvoer		Δ	Verw.	Maai-	Af-
		kwel	inlaat	Opsl.		beheer	inf.	uitlaat	Opsl.		beheer	voer
2007	Veld 1	2.2	818	-30	165	35	5	645	-3.6	20.1	4.3	79.2
	Veld 2	2.8	842	-19	170	34	14	646	-2.2	20.2	4.0	78.0
	Veld 3	2.7	815	-32	191	39	20	600	-3.9	23.4	4.8	75.7
	Veld 4	2.7	759	-17	175	26	11	567	-2.2	23.0	3.4	75.8
	Veld 5	2.6	759	-17	176	26	8	569	-2.2	23.1	3.4	75.7
	Veld 6	2.6	760	-17	174	26	4	576	-2.2	22.9	3.4	75.9
2008	Veld 1	0.0	962	-48	189	44	20	757	-5.0	19.6	4.6	80.8
	Veld 2	0.0	982	-49	192	56	28	755	-5.0	19.6	5.7	79.7
	Veld 3	0.0	962	-51	220	48	33	712	-5.3	22.8	5.0	77.5
	Veld 4	0.0	931	-31	209	32	26	695	-3.3	22.5	3.5	77.3
	Veld 5	0.0	931	-31	210	32	23	697	-3.3	22.6	3.5	77.2
	Veld 6	0.0	931	-31	208	32	19	703	-3.3	22.4	3.5	77.4

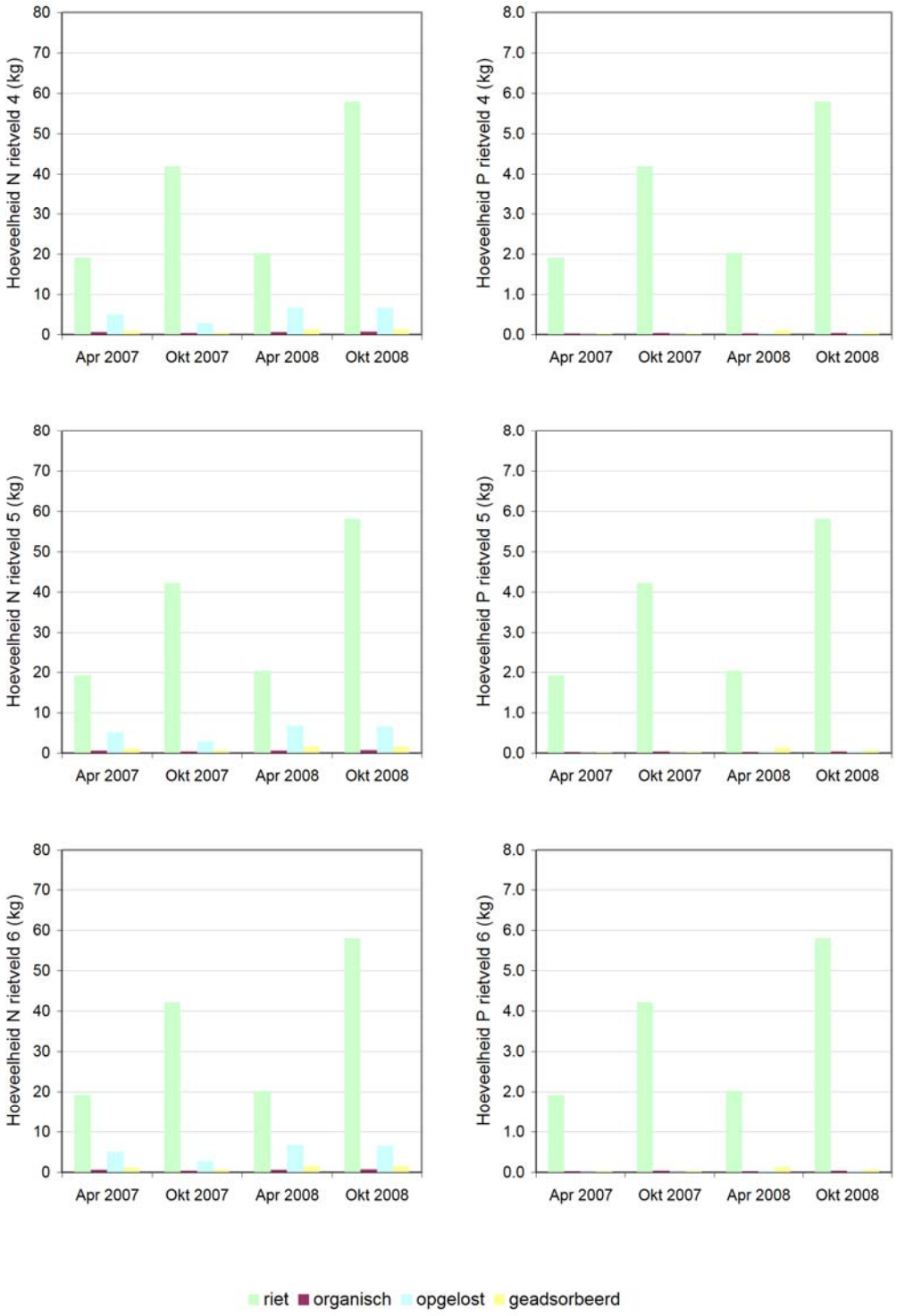
Tabel B8.2 P balans zuidelijke rietvelden voor het winterhalfjaar 2007 en 2008 (Verw.=Verwijdering, inf.=infiltratie).

Jr	Riet-	N balans (kg)							N balans (%)			
	veld	Aanvoer		Δ	Verw.	Maai-	Afvoer		Δ	Verw.	Maai-	Af-
		kwel	inlaat	Opsl.		beheer	inf.	uitlaat	Opsl.		beheer	voer
2007	Veld 1	0.0	11.4	-3.4	1.2	3.5	0.1	10.0	-29.6	10.7	31.0	87.9
	Veld 2	0.0	12.2	-2.3	1.1	3.4	0.2	9.8	-18.5	9.1	27.9	81.5
	Veld 3	0.0	11.4	-3.6	1.4	3.9	0.3	9.4	-31.8	12.6	34.4	84.8
	Veld 4	0.0	8.3	-2.1	1.0	2.6	0.1	6.7	-25.0	12.0	30.9	82.1
	Veld 5	0.0	8.3	-2.1	1.0	2.6	0.1	6.7	-24.8	12.1	31.0	81.7
	Veld 6	0.0	8.4	-2.1	1.0	2.6	0.0	6.9	-24.8	12.0	30.7	82.1
2008	Veld 1	0.0	9.7	-5.0	1.1	4.4	0.3	8.9	-51.5	11.5	45.2	94.8
	Veld 2	0.0	10.0	-5.0	0.9	5.6	0.3	8.2	-50.4	8.8	56.4	85.2
	Veld 3	0.0	9.7	-5.4	1.3	4.8	0.4	8.6	-55.2	13.6	49.8	91.8
	Veld 4	0.0	7.3	-3.3	1.0	3.2	0.2	6.2	-44.9	13.2	44.0	87.7
	Veld 5	0.0	7.3	-3.3	1.0	3.2	0.2	6.2	-45.0	13.3	44.1	87.6
	Veld 6	0.0	7.3	-3.3	1.0	3.2	0.2	6.2	-44.9	13.2	43.9	87.8

Bijlage 9 Nutriëntenbalansen (N en P) voor rietvelden



Figuur B9.1 Nutriëntenbalans N en P voor de zuidelijke rietvelden 1 tot en met 3, volgend uit het rietmodel. 'Organisch' en 'opgelost' representeren de nutriënten opgelost in de waterkolom. 'Geabsorbeerd' geeft de hoeveelheid nutriënten die gehecht zijn aan het sediment.



Figuur B9.2 Nutriëntenbalans N en P voor de zuidelijke rietvelden 4 tot en met 6, volgend uit het rietmodel. 'Organisch' en 'opgelost' representeren de nutriënten opgelost in de waterkolom. 'Geabsorbeerd' geeft de hoeveelheid nutriënten die gehecht zijn aan het sediment.